



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

FRÉZOVÁNÍ ASFALTOVÝCH VRSTEV VOZOVEK

MILLING OF ASPHALT LAYERS OF PAVEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

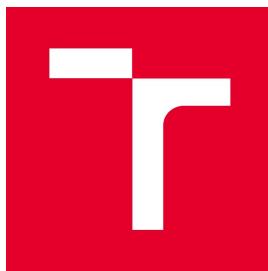
Peter Brida

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DAŠEK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Peter Brida
Název	Frézování asfaltových vrstev vozovek
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky vyfrézované asfaltové směsi

ČSN EN 13108-8

Normy řady 12697

Norma ČSN EN 933-1+A1

Literatura z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude hodnocen vliv okrajových podmínek procesu frézování (např. rychlost pojezdu frézy apod.) na vedení čáry zrnitosti materiálu, který bude získán frézováním vrstvy asfaltové směsi silniční frézou.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání vlivu rychlosti pojezdu silniční frézy na vlastnosti R-materiálu. V teoretické části práce je rozebrána problematika výroby a použití R-materiálu. Praktická část spočívá v posouzení čáry zrnitosti těchto materiálů, vyextrahování asfaltového pojiva ze vzorku a vykonání zkoušek na takto získaném pojivu.

KLÍČOVÁ SLOVA

R-materiál, frézování asfaltové vrstvy, zrnitost, penetrace jehlou, bod měknutí

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the comparison of the influence of the milling machine movement speed on the properties of RAP (reclaimed asphalt pavement). The theoretical part describes issue of production and usage of RAP. The practical part evaluates the sieve size distributions of these materials and needle penetration and softening point of bitumen recovered from RAP samples.

KEYWORDS

Reclaimed asphalt, milling of asphalt layer, aggregate gradation, needle penetration, softening point

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Peter Brida *Frézování asfaltových vrstev vozovek*. Brno, 2020. 82 s., 0 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Frézování asfaltových vrstev vozovek* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 20. 5. 2020

Peter Brida
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Frézování asfaltových vrstev vozovek* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. 5. 2020

Peter Brida
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Ondřejovi Daškovi za vedení a pomoc při zpracování mé práce. Dále děkuji všem zaměstnancům laboratoře Ústavu pozemních komunikací VUT FAST v Brně, především Pavlovi Strakovi za ochotu a rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině, která mi byla oporou po dobu celého studia.

Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. REŠERŠE LITERATURY.....	11
2.1. Výroba R-materiálu ze znovuzískané asfaltové směsi z asfaltových vozovek	11
2.1.1. Základní pojmy a zkratky	11
2.2. Získání a uložení R-materiálu	13
2.2.1. Získání R-materiálu	13
2.2.2. Separace a přetřídění.....	14
2.2.3. Drcení.....	15
2.2.4. Třídění.....	15
2.2.5. Dopravní technika.....	15
2.3. Recyklační mechanizace	15
2.3.1. Drtiče drobné stavební suti	15
2.3.2. Drtiče kameniva	16
2.3.3. Třídící jednotky.....	16
2.3.4. Recyklační linky	17
2.4. Roztřídění recyklační techniky.....	17
2.4.1. Podle mobility.....	17
2.4.2. Rozdělení podle použitého drtiče.....	20
3. RECYKLACE KONSTRUKČNÍCH VRSTEV VOZOVKY.....	24
3.1. Recyklace za studena	24
3.1.1. Recyklace na místě za studena (cold in-place recycling)	25
3.1.2. Recyklace v míchacím centru za studena (cold in-plant recycling)	28
3.2. Recyklace za horka.....	29
3.2.1. Recyklace na místě za horka (hot in-place recycling)	29
3.2.2. Recyklace v míchacím centru za horka (hot in-plant recycling)	32
4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	34
5. POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	35
5.1. Sítový rozbor.....	35
5.1.1. Použité přístroje a pomůcky.....	35
5.1.2. Zkušební postup	35
5.2. Znovuzískání extrahovaného pojiva.....	37
5.2.1. Použité přístroje a pomůcky.....	38

5.2.2. Zkušební postup	38
5.3. Penetrace jehlou	40
5.3.1. Použité přístroje a pomůcky	40
5.3.2. Zkušební postup	40
5.4. Bod měknutí metodou kroužek a kulička (KK)	42
5.4.1. Použité přístroje a pomůcky	42
5.4.2. Zkušební postup	42
6. POUŽITÉ MATERIÁLY	45
7. VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK	46
7.1. Kusová zrnitost R-materiálu	46
7.1.1. R-materiál z ohrusné vrstvy vozovky	46
7.1.2. Materiál z ložní vrstvy vozovky	51
7.2. Extrakce pojiva a jeho znovuzískání, obsah pojiva ve vzorku	56
7.3. Zrnitost kameniva získaného z R-materiálu	57
7.3.1. Kamenivo z ohrusné vrstvy vozovky	57
7.3.2. Kamenivo z ložní vrstvy vozovky	64
7.4. Porovnání čar zrnitosti	71
7.5. Penetrace jehlou	72
7.6. Bod měknutí	73
8. ZÁVĚR	74
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
10. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	80
11. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	81
12. SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ	82

1. ÚVOD

V minulé dekádě upoutalo velkou pozornost použití recyklovaných materiálů v konstrukci vozovek. Významně totiž může pomoci vyřešit problémy nejen s vyčerpáváním přírodních zdrojů, ale i se skladováním stavebního odpadu. Po celém světě se ročně vyprodukuje obrovské množství stavebního odpadu, který může být recyklován a použit v konstrukčních vrstvách vozovek. Takové využití stavebního odpadu přispívá k ochraně životního prostředí, ke snižování počtu a velikosti skládek, k šetření přírodního materiálu a k menší spotřebě energií na těžbu, přepravu a zpracování přírodních materiálů. [1]



Obrázek 1: Stavební odpad z vozovky

2. REŠERŠE LITERATURY

2.1.Výroba R-materiálu

ze znovuzískané asfaltové směsi z asfaltových vozovek

2.1.1. Základní pojmy a zkratky

- **Stavební a demoliční odpad (SDO)**

je inertní odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a za normálních klimatických podmínek u něj nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám.

- **Recyklovaný stavební materiál (RSM)**

je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě SDO, kategorie ostatní odpad a odpady podobné SDO, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce k tomu určené.

- **Recyklát z vozovek**

je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem, případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin s celkovým obsahem složek $R_c + R_a + R_u \geq 95 \%$ hm. Maximální obsah složky R_a je 30% hm. Maximální obsah jiných, ostatních a plovoucích částic ($X+Y+FL$) je 5% hm. [42] [38]

- **Asfaltová směs**

Je směs kameniva a asfaltového pojiva

- **Zrnitost kameniva**

Je označení velikosti kameniva v R-materiálu hodnotami velikosti spodního (d) a horního (D) síta, vyjádřená jako d/D ; pro R-materiál je d konstantně rovno 0.

- **Zrnitost R-materiálu**

Maximální velikost částic asfaltové směsi v R-materiálu, vyjádřená jako velikost síta (U). [38]

- **R-materiál**

je asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Jedná se o více než 95 % asfaltových materiálů (Ra), s max. obsahem 5 % hm. ostatních recyklovaných materiálů ($R_c+R_b+R_u+X+Y+FL$).

Vysvětlivky ke zkratkám: **R_c** – beton, betonové výrobky, malta, betonové zdící prvky

R_b – pálené zdící prvky, např. cihly a tvárnice, vápenopískovcové zdící prvky, neplovoucí pórobeton

R_u - nestmelené kamenivo, přírodní kámen, kamenivo ze směsi stmelené hydraulickým pojivem

X – jiné částice (% hm.) jako jíl a další přilnavé nečistoty, kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka

Y – ostatní částice (% hm.) jako papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály apod. Z hlediska stanovování obsahu ostatních částic (Y) se tyto přiřazují při zkoušce podle ČSN EN 933-11 ke složce jiných částic (X)

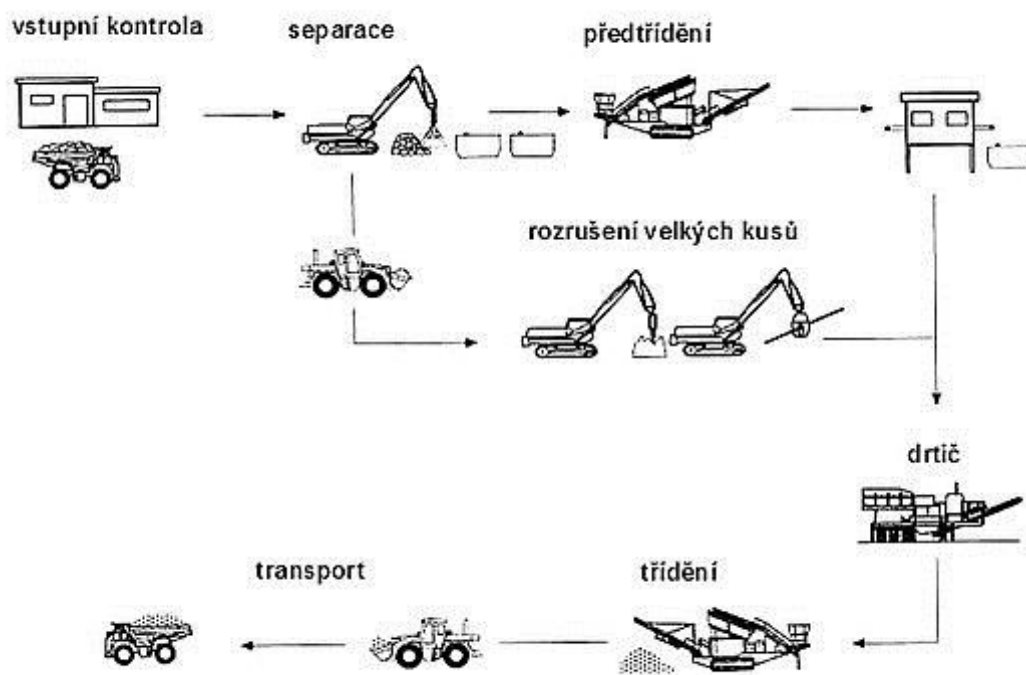
FL – plovoucí částice (cm³ /kg) podle ČSN EN 933-11 – plovoucí dřevo, polystyrén apod. [42] [38]

Asfaltový recyklát

Asfaltové recykláty jsou vhodné nejen pro opravy ale i jako nové vrstvy silničních komunikací. Aplikují se buď bez přidání nového pojiva, nebo s přidáním hydraulického pojiva (cement, hydraulické vápno). Pro provádění nových stmelených podkladních vrstev je také možné použít kombinace emulze a hydraulického pojiva. Výsledné vlastnosti takovýchto vrstev jsou plně srovnatelné s výslednými vlastnostmi směsi typu obalovaného kameniva s tepelnou úpravou. [14]

2.2. Získání a uložení R-materiálu

Způsob výroby recyklátů má zásadní vliv na kvalitu tohoto materiálu pro použití do pozemních komunikací. Při běžných demoličních pracích je zcela nezbytné (z hlediska dalšího využití vybouraného materiálu) provádět důsledné třídění. Celý proces výroby recyklátu je znázorněn na obrázku č.2. [42]



Obrázek č. 2: Schéma výroby recyklátu [14]

2.2.1. Získání R-materiálu

Vozovka se dá vybourat dvěma způsoby. Prvním je vybourání celé konstrukce, drcení a vytřídění materiálu. Druhá možnost je vybourání vozovky po jednotlivých konstrukčních vrstvách. Tento postup je mnohem výhodnější, protože získaný materiál je více homogenní a vyžaduje minimální třídění. [12]

2.2.1.1. Bourání konstrukce vozovky

Prvním způsobem získání R-materiálu je vybourání konstrukce staré vozovky za pomoci rýpadla s nástavcem pneumatického kladiva (obr.č.3).



Obrázek č. 3: Vybourání asfaltových desek vozovky [29] [31]

2.2.1.2. Frézování konstrukce vozovky

Druhým způsobem získávání R-materiálu je frézování konstrukce vozovky za pomoci silničních fréz (obr. č. 4). Výhodou frézování oproti bourání je možnost postupovat po jednotlivých konstrukčních vrstvách.



Obrázek č. 4: Silniční fréza CAT PM622 [32]

2.2.2. Separace a přetřídění

Stavební odpad je třeba před dalším použitím vytřídit a upravit. Třídící zařízení musí oddělit vhodný materiál od nevhodného. Vhodný způsob třídění závisí například na objemové hustotě látek nebo na magnetických vlastnostech. Prioritu má oddělení

kontaminovaných materiálů od nekontaminovaných. Dále je potřeba oddělit cizorodé složky. Z přivezeného SDO se oddělují rozměrné kusy, které se rozdrtí na přípustnou velikost. [16]

2.2.3. Drcení

„Drcení lze definovat jako převedení látky do stavu požadované zrnitosti. Volbu vhodného drtícího zařízení ovlivňují zejména fyzikální vlastnosti drceného materiálu, účel použití produkovaného recyklátu a jeho požadované vlastnosti. Drtiče tvoří jádro recyklačních souprav, zásadním způsobem ovlivňují kvalitu produkovaného recyklátu a na jejich výkonnosti závisí výkonnost celé soupravy.“ [15]

2.2.4. Třídění

„Třídění kameniva je proces, při kterém jsou jednotlivá zrna kameniva od sebe oddělována podle velikosti nebo také podle tvaru. Třídění kameniva se provádí mechanickým způsobem na sítích, hydraulickým tříděním ve vodním proudu případně pneumatickým způsobem ve vzdušném proudu. Nejvíce používaným způsobem třídění kameniva je třídění na sítích. Síta jsou vyrobena z ocelových drátů, z ocelových plechů s vyraženými otvory. Pro hrubé třídění se používají roštnice zhotovené z válcovaných profilů.“ [24]

2.2.5. Dopravní technika

Velmi důležitou součástí celého recyklačního procesu je dopravní technika. Používá se jak k dovezení materiálu k samotné lince (nakladače, rýpadla, nákladní vozy), tak i k přepravě k dalšímu zpracování (pásové dopravníky). [15]

2.3. Recyklační mechanizace

2.3.1. Drtiče drobné stavební sutě

Zpracovává drobnou stavební suť (omítky, cihly, beton). Ideální kusovitost pro tento typ drtiče je 10-15 cm a pevnost v tlaku do 100MPa (obr.č.5). [23]



Obrázek č. 5: Drtič drobné stavební sutě [23]

2.3.2. Drtiče kameniva

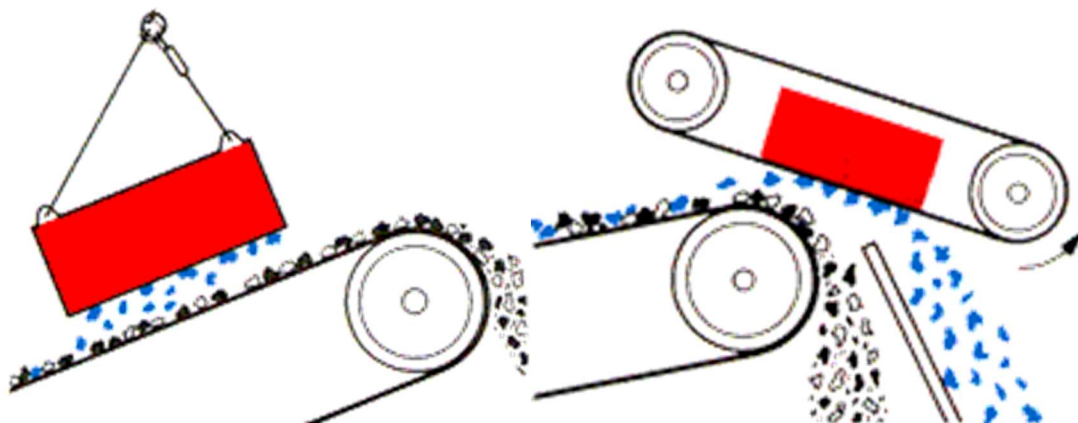
Jsou to strojní zařízení, která se používají k drcení kameniva. Drcení se provádí tlakem, štípáním, úderem, nárazem nebo odrazem. Cílem je dosáhnout požadovaného tvaru a velikosti zrn kameniva. Dají se dělit podle mobility nebo podle způsobu drcení materiálu. Tomuto třídění bude věnována pozornost v kapitole 2.4. [24]

2.3.3. Třídící jednotky

Slouží k roztrídění materiálů na různé požadované frakce nebo k oddělení nežádoucích materiálů (např. kovů) z recyklátu.,

2.3.3.1. Magnetické separátory

Používají se k odstranění kovových částí z recyklovaného materiálu. (obr. č. 6)



Obrázek 6: Příklad umístění magnetického separátoru [5]

2.3.4. Recyklační linky

Jsou to stroje složené z drtičů, třídíčů, magnetických separátorů a dalších zařízení. Dají se dělit podle mobility. [22]

2.4. Roztřídění recyklační techniky

2.4.1. Podle mobility

Třídíče a drtiče můžeme rozdělit podle mobility do následujících skupin:

- mobilní
- semimobilní
- stacionární

V ČR se nejvíce rozvinulo používání mobilních drtičů a třídíčů (až 90 % všech materiálů). Z počátku byly menší stroje instalovány do kontejnerových rámců, což umožňovalo přepravu běžnými nákladními automobily (semimobilní). Rozměněné stroje byly umísťovány na různé přívěsy nebo návěsy. Toto uspořádání však mělo značné nevýhody. Materiál bylo potřebné dovážet z celého prostoru, což bylo velmi neekonomické.

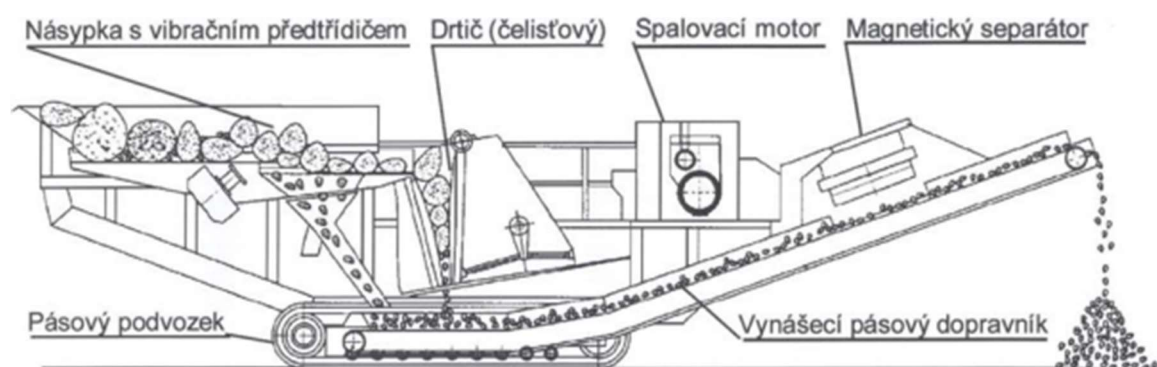
Dnes jsou recyklační stroje umístěné na pásových podvozcích a ovládány dálkovými ovladači, které obsluhuje strojník v rýpadle nebo v nakladači, kterým je drtič zavážen.

2.4.1.1. Mobilní recyklační linky

Bývají využívány přímo na staveništích, nejvíc u liniových staveb (dálnice). Recyklace přímo na místě demolice bývá výhodná pro investora (při nominálním objemu odpadu odhadem 10 000 t) a snižuje dopravní zatížení. Zvyšuje se však hluk a prašnost. Používají se pouze pásové podvozky. (obr. č. 7)

Výhodou mobilních souprav je hlavně jejich pohyblivost a nezávislost na přísunu zpracovaného materiálu.

Nevýhodou jsou vyšší provozní náklady (montáž a doprava soustavy), omezený počet frakcí recyklátu, zhoršená kontrola SDO a problémy ohledně emisí prachu, exhalátů a hluku do okolního prostředí. [14]



Obrázek č. 7: Schéma mobilní recyklační linky [14]

SDO prochází přes podavač, který oddělí jemné podsítné frakce (hlína, písek) a hrubozrnný materiál. Hrubozrnný materiál se dále drtí v drtiči s regulovaným výstupem zrn a propadá na dopravník. Pohon celé soupravy pohání spalovací motor. Výkon takové soupravy se pohybuje v rozmezí cca 30 až 150 t/h. Výkon závisí hlavně na použitém drtiči. (obr. č. 8) [13,16,17]



Obrázek č. 8: Mobilní recyklační linka [18]

2.4.1.2. Semimobilní recyklační linky

Semimobilní recyklační linky (obr. č. 9) nejsou mobilní, ale zároveň také nejsou pevně připevněny k podloží. Tyto stroje mají podvozek na ližinách pro snadnější manipulaci. Vzhledem k hmotnosti stroje musí být podloží zpevněno. [19]



Obrázek č. 9: Semimobilní recyklační linka [21]

2.4.1.3. Stacionární recyklační linky

Stacionární recyklační linky (obr. č. 10) jsou schopny vyrobit nejkvalitnější recykláty při vysokém výkonu. Jsou největším a nejvíce vybaveným druhem. Hlavní nevýhodou je nutnost zajistit stálý přísun materiálu, což snižuje jejich ekonomickou efektivnost vzhledem k cenám dopravy. [22]



Obrázek č. 10 - Stacionární recyklační linka [20]

2.4.2. Rozdělení podle použitého drtiče

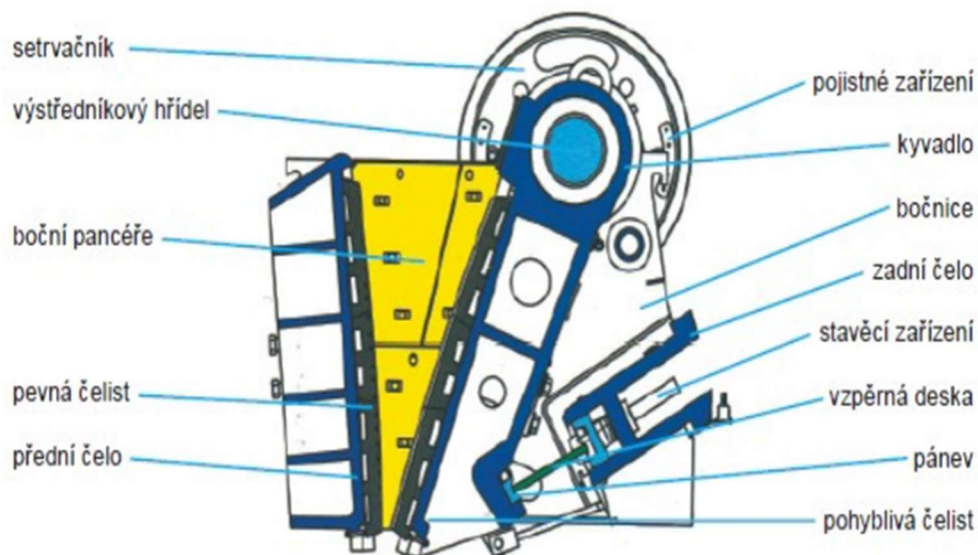
Rozlišujeme statické nebo dynamické drtiče.

- Statické drtiče
 - Čelistové drtiče
 - Kuželové drtiče
 - Válcové drtiče
- Dynamické drtiče
 - Odrazové
 - Kladivové

2.4.2.1. Čelistové drtiče

Jedná se o robustní stroje. Řadí se mezi statické drtiče, používají se hlavně pro primární drcení. Výhodou tohoto drtiče je vysoká provozní spolehlivost a nízké

provozní náklady. Tento typ drtiče se skládá z dvou naproti sobě uložených drticích desek z manganové oceli. Jedna z čelistí je pevně uložena na konstrukci. Druhá čelist je uložena na kyvadlu, které vykonává kývavý pohyb, který způsobuje drcení kameniva. (obr. č. 11) [26]

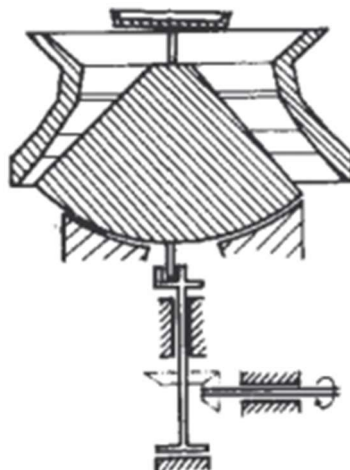


Obrázek č. 11: Schéma jednovzpěrného čelistového drtiče [26]

2.4.2.2. Kuželové drtiče

Kuželové drtiče patří mezi statické drtiče. U tohoto typu drtiče je drcení vyvoláno nepřetržitým krouživým pohybem. Materiál se zde drtí mezi pevně uloženým drticím pláštěm a otáčejícím se drticím kuželem, které jsou zobrazeny na obrázku č.12. Při drcení se kužel postupně přibližuje a následně oddaluje od stěny pevného kužele. Podle způsobu uložení a tvaru kužele rozlišujeme 3 základní druhy kuželových drtičů:

- ostroúhlý
- ostroúhlý-krouživý
- tupoúhlý

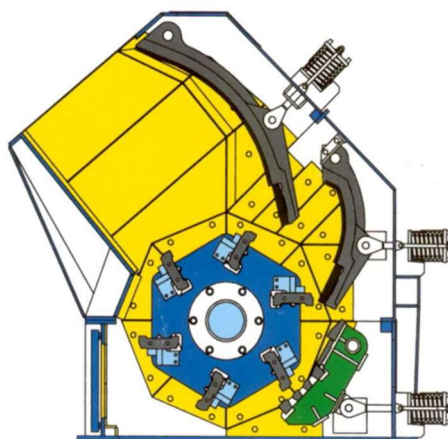


Obrázek č. 12 - Kuželový drtič [39]

Dále se dělí podle velikosti drcené horniny. Na drcení velkých kusů hornin se používají drtiče primární. V drcení již předdrcených hornin se používají menší drtiče, které se označují jako sekundární. [39]

2.4.2.3. Odrazové drtiče

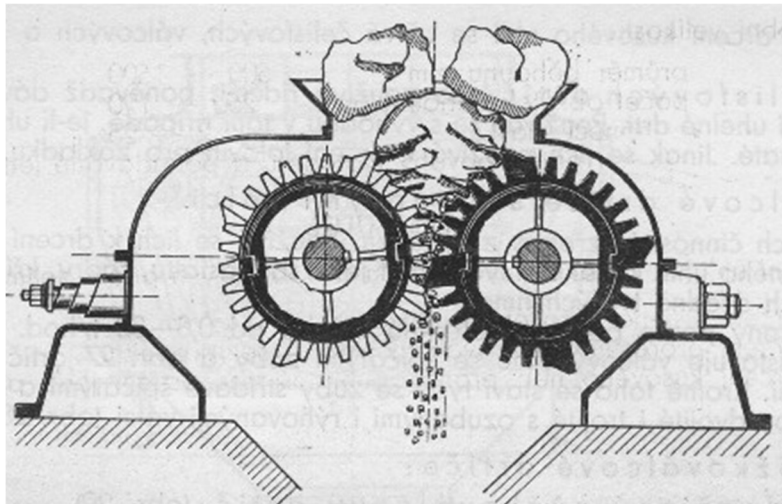
Dalším typem drtiče je odrazový drtič. Ve středu drtiče se nachází otáčející se válec, na kterém jsou výčnělky nebo zuby. Drcený materiál se zachytává na těchto zubech a poté je s vysokou kinetickou energií vržen proti nepohyblivé části drtiče, nejčastěji tvořené pancéřovým plátem. Řez odrazovým drtičem je znázorněn na obrázku č. 13. [40]



Obrázek č. 13 - Schéma odrazového drtiče [40]

2.4.2.4. Válcové drtiče

Válcový drtič je tvořen dvěma pohyblivými částmi, které proti sobě otáčejí válce. Na válcích jsou umístěné zuby nebo výčnělky různého tvaru a velikosti. Hlavní výhodou tohoto typu drtiče je jeho vysoký výkon, spolehlivost a nízké provozní náklady. Schéma válcového drtiče je zobrazeno na obrázku č. 14. [40]



Obrázek č. 14 - Schéma válcového drtiče [41]

3. RECYKLACE KONSTRUKČNÍCH VRSTEV VOZOVKY

Rozhodnutí o recyklaci vrstev konstrukce vozovky musí předcházet diagnostický průzkum, který zahrnuje:

- vizuální prohlídku
- vrtané a kopané sondy
- průkaz dostatečné únosnosti podloží, resp. zbytkové životnosti konstrukce

Recyklaci je možné rozdělit podle 2 hlavních kritérií.

Rozdělení recyklace netuhých vozovek:

Podle místa provádění:

- na místě
- v míchacím centru

Podle teploty provádění:

- za studena
- za tepla

[2]

3.1. Recyklace za studena

Recyklace za studena je technologický proces recyklace bez použití tepla. Používají se různá pojiva, jako například asfaltové emulze, zpeňný asfalt, cement nebo jiné hydraulické pojivo. Využití různých druhů pojiv je popsáno v tab. č. 1.

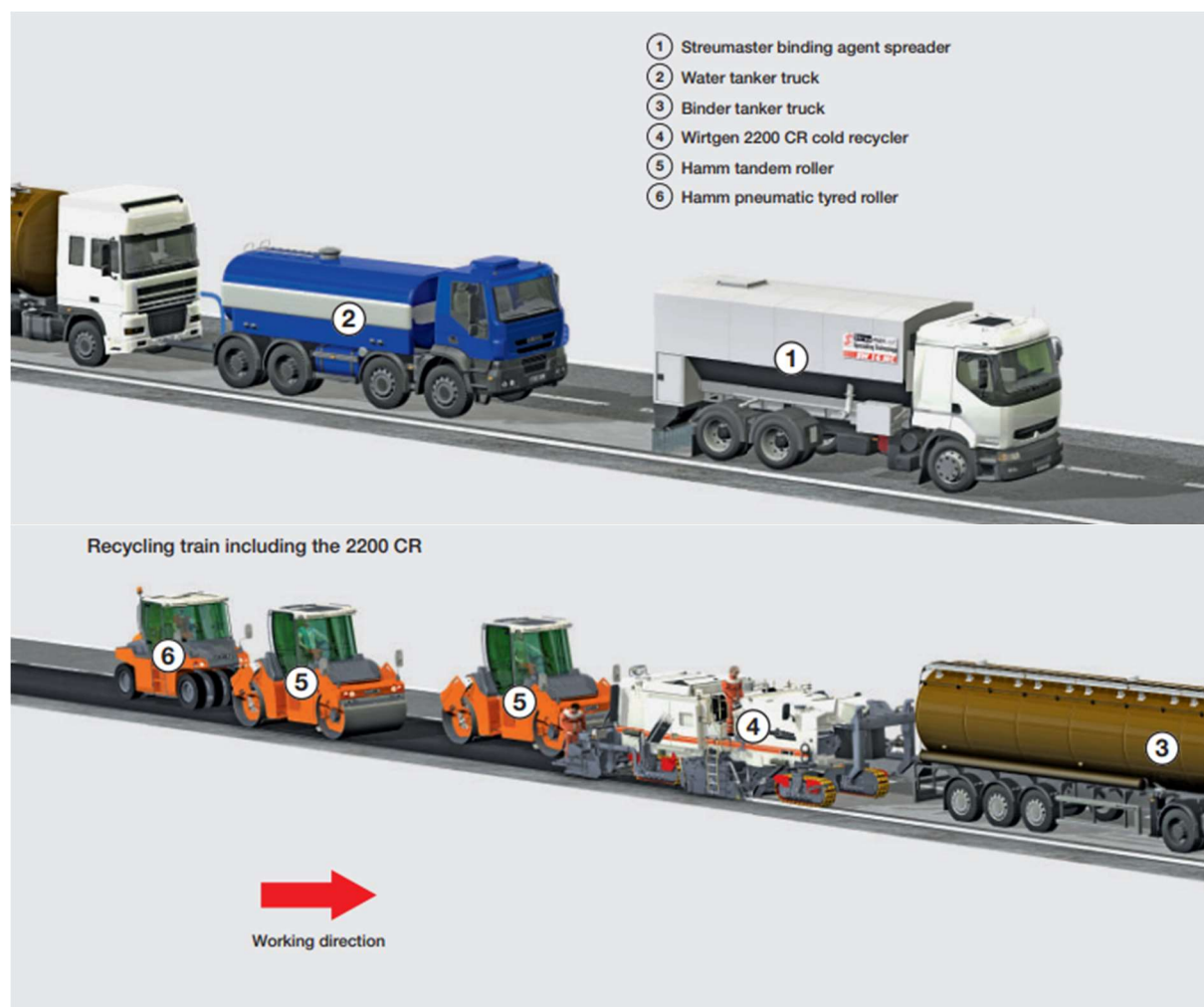
Tabulka č. 1: Technologie studené recyklace [3]

Rozdělení podle druhu pojiva	Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek	
	Recyklace na místě	Recyklace v centru
Bez pojiv	Reprofilace a homogenizace nestmelené vrstvy s možností přidání dalšího materiálu za účelem zlepšení zrnitosti Původní předpis: TP 111	Použití recyklovaného materiálu pro nestmelené vrstvy Původní předpis: TP 111
Cement	Recyklace vrstev, které neobsahují asfaltové pojivo	Použití recyklovaného materiálu, který neobsahuje asfaltové pojivo
Jiné hydrau-lické pojivo		
Asf. emulze a cement	Společná recyklace vrstev, které obsahují asfaltové pojivo a vrstev bez asfaltového pojiva Původní předpis: TP 162	Použití směsi recyklovaného kameniva a R-materiálu Původní předpis: TP 134
Zpěněný asfalt a cement		
Asf. emulze	Recyklace vrstev asfaltového krytu	Použití R-materiálu pro vrstvy asfaltového krytu Původní předpis: TP 126
Zpěněný asfalt		

Při metodě recyklace za studena na místě je běžně použit veškerý stavební odpad vyprodukovaný při procesu. V míchacím centru množství závisí na vícero faktorech. Recyklace na místě za studena je také ekonomicky výhodnější kvůli nákladům na dopravu. [3]

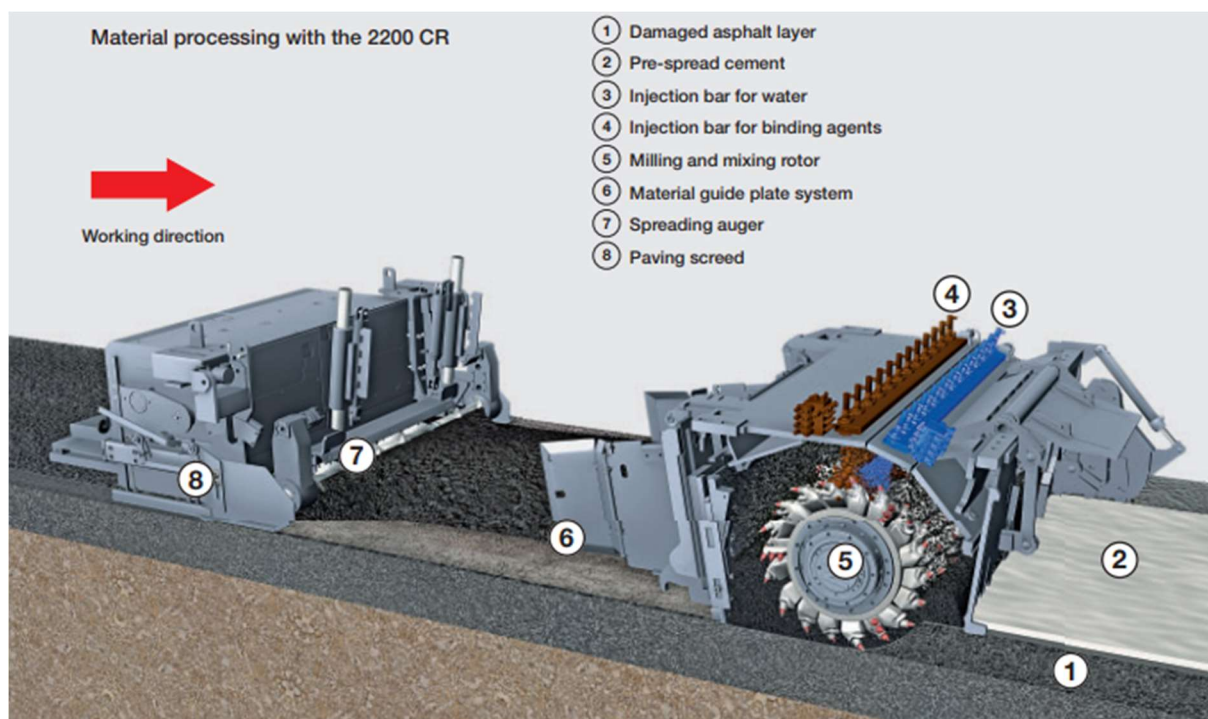
3.1.1. Recyklace na místě za studena (cold in-place recycling)

Recyklace na místě za studena je technologický proces recyklace za studena zhotovený přímo na místě. Technologie recyklace vozovek na místě za studena je moderní progresivní technologie dopravního stavitelství, která výrazně pomáhá zlepšovat stav silnic v České republice. Na obrázku č.15 je vyobrazeno schéma recyklační kolony pro recyklaci na místě za studena.



Obrázek č. 15: Schéma recyklační kolony pro recyklaci na místě za studena [8]

Recyklovaná vrstva se zhotoví rozpojením a úpravou staré vrstvy přímo na místě (obr. č. 16). Tuto technologii lze použít u všech typů komunikací. Hlavní výhoda této metody je v rychlosti provádění a snížení nákladů oproti běžně používaným materiálům.



Obrázek č. 16: Rozpojení a úprava staré vrstvy vozovky [8]

Recyklovaná asfaltová vrstva je obvykle složená ze zbroušené poškozené vrstvy, filleru a starého asfaltu, vykazujícího různé mechanické a fyzikální vlastnosti, které mají vliv na množství potřebných přísad. Zatížení způsobuje relativně lehké deformace recyklované asfaltové vrstvy. Kvůli zoxidovanému pojivu a zvýšenému riziku vzniku trhlin při použití recyklované asfaltové vrstvy s vysokým obsahem recyklátu, je její použití značně omezeno. [4]

Recyklace na místě za studena se skládá z 5 základních kroků:

1. Broušení a drcení původní asfaltové vrstvy
2. Přidání a míchání příměsí a pojiv
3. Pokládka vrstvy
4. Hutnění
5. Pokládka další vrstvy

V minulosti byl problém obzvlášť s hutněním recyklovaných vrstev. Zkonstruování takové vrstvy bez prověření kvality zhutnění může mít za následek

mezerovitost až 25 %. Takto velká mezerovitost může vést k rychlému porušení vlivem vody, a to i za přítomnosti vápenného popílku. [5]

Další nevýhodou recyklace na místě za studena je čas, nutný k zatuhnutí pojiva ve směsi. Pro urychlení je nutno použít urychlovače tuhnutí. Je možné použít odpady z různých odvětví, jako například prach z cementářské pece, popel z uhlí nebo strusku. Dále je možné použít sekundární příměsi, které slouží jako stabilizátory, jako například portlandský cement, pucolánový popílek nebo vápno. [6]

3.1.2. Recyklace v míchacím centru za studena (cold in-plant recycling)

Míchací centrum se skládá z dávkovacích násypek a dávkovacího systému pro pojiva a míchačky. Na obr. č. 14 je schéma mobilního míchacího centra.



Obrázek č. 17 - Mobilní míchací centrum [33]

Hlavní výhodou recyklace v míchacím centru jsou:

- Kontroly vstupních údajů

Metoda recyklace na místě umožňuje menší kontrolu konečné směsi než v míchacím centru. Důvodem je možnost použití více druhu kameniv. Dále se může R-materiál před drcením nahromadit, testovat a podle potřeby měnit jeho výsledné vlastnosti.

- Kvalita směsi

Kvalita se dá lépe ovlivňovat v míchacím centru v závislosti na vstupních materiálech. Zlepšení lze provést například homogenizací.

- Možnost tvoření zásob směsi

Hotová směs může být při správném ošetření uložena do zásobníku a zpracována až do 24 hod. Tím se odstraňuje závislost míchání na okamžitém zpracování. [33]

3.2. Recyklace za horka

3.2.1. Recyklace na místě za horka

(hot in-place recycling)

V průběhu let se HIR vyvinula do populární údržbové technologie. Při vhodném technickém vybavení lze v optimálních podmínkách dnes docílit až 100 % opětovného využití asfaltového R-materiálu v nové asfaltové směsi. Pouze 10–20 % materiálu je nutno promíchat s RAP materiálem k obnovení asfaltové vrstvy vozovky. Navíc HIR dokáže současně odstranit více poruch vozovky, jako například vyjeté koleje, trhliny nebo ztrátu hmoty (obr. č. 18). [11]

Hlavní problémy v případě využití odfrézovaného materiálu konstrukčních vrstev vozovky:

- nestejnorodost materiálu v důsledku řady technologií uplatněných při údržbě a provádění lokálních oprav;
- neexistující motivace a nepřístupnost k provádění frézování po vrstvách;
- využívání recyklovaného materiálu v řadě případů pro druhořadé účely, kde zpravidla existuje poměrně velká poptávka, protože materiál je nabízen levně

Recyklace na místě za horka se skládá ze 6 základních kroků:

1. Zahřátí vrstvy vozovky
2. Zbroušení asfaltové vrstvy
3. Obnova

4. Míchání
5. Položení
6. Hutnění

Nejnáročnější z výše uvedených kroků je proces zahřívání

Výhody oproti recyklaci na místě za studena:

- Zahřátí změkčí pojivo
- Kamenivo je odtlačeno místo drcení [9,10,11]



Obrázek 18 Proces recyklace na místě za horka [11]

Recyklaci na místě za horka lze provádět různými způsoby.

3.2.1.1. Regrip

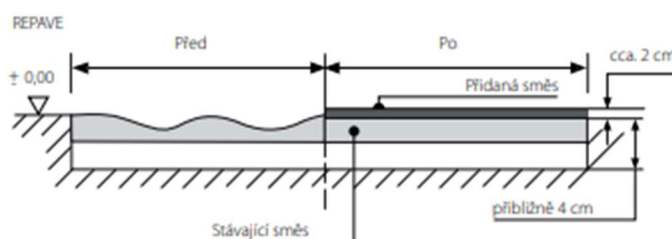
Jedná se o technologii na zlepšení protismykových vlastností stávající vozovky. Povrch vozovky se zahřeje za pomoci infrazářičů. Poté se provede podrcení kamenivem úzké frakce, které se následně zaválcuje. [34] [35]

3.2.1.2. Reshape

Jedná se o technologii na úpravu příčného profilu stávající vozovky. Povrch vozovky se zahřeje za pomoci infrazářičů. Poté se provede rozpojení a nakypření asfaltové směsi, znovu položení směsi v příčném a podélném směru a následné zhutnění. [35] [34]

3.2.1.3. Repave

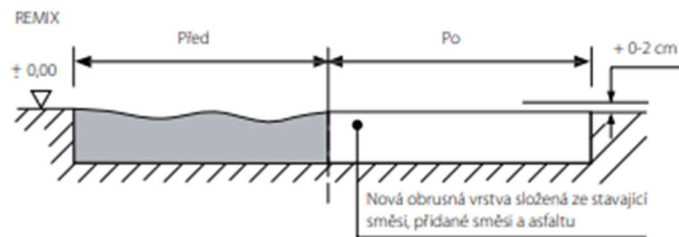
Jedná se o technologii na přetvarování krytu vozovky recyklací se současným přidáním nové vrstvy (obr. č. 19). Povrch vozovky se zahřeje za pomoci infrazářičů. Poté se provede rozpojení a nakypření vrstvy určené k recyklaci. Rozpojená vrstva se znovu položí v příčném a podélném směru a přidá se nová asfaltová vrstva na urovnanou předešlou vrstvu (probíhá současně v jednom pracovním kroku). Obě vrstvy se zhutní současně. Touto technologií lze docílit zesílení vozovky o 10 až 40 mm. [35] [34]



Obrázek č. 19 - Schéma metody Repave [35]

3.2.1.4. Remix

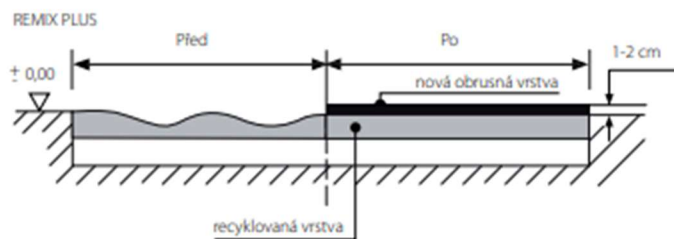
Jedná se o technologii na přetvarování krytu vozovky recyklací se současným jakostním zlepšením směsi stávající asfaltové vrstvy (obr. č. 20). Původní vrstva se upraví na požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti přidáním potřebných komponentů. Při této metodě je možné přidávat do směsi nové kamenivo, přísady, asfalt nebo asfaltovou směs. Pokud se přidává kamenivo, je nutné ho rozprostřít na povrch vozovky ještě před nahřátím. Poté se stávající povrch určený k recyklaci nahřeje. Následuje rozpojení a promíchání asfaltové směsi. Pokud je nutno přidávat asfalt nebo přísady, učiní se tak v tomto kroku. Směs se opětovně položí a zhutní. [35] [34]



Obrázek 20 - Schéma metody Remix [35]

3.2.1.5. Remix PLUS

Jedná se o technologii na přetvarování krytu vozovky recyklací se současným jakostním zlepšením směsi stávající asfaltové vrstvy a přidáním nové vrstvy (obr. č. 21). Původní asfaltový kryt se upraví metodou Remix. Upravená asfaltová směs se položí za pomoci vyhřívané lišty. Na vrstvu z upravené směsi se položí nová asfaltová směs ohrubné vrstvy další vyhřívanou lištou systémem horké na horké. Následuje zhutnění obou vrstev zároveň. [35] [34]



Obrázek 21 - Schéma metody Remix PLUS [35]

3.2.2. Recyklace v míchacím centru za horka (hot in-plant recycling)

Jedná se o způsob recyklace, kdy se R-materiál přidává do směsí, které jsou vyráběny v obalovně. Tato metoda představuje nejefektivnější možnost zpracování R-materiálu. Existují tři způsoby, jak lze dávkovat R-materiál do asfaltových směsí.

3.2.2.1. Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny

Na obalovnách v České republice se jedná o nejčastější technologii recyklace za horka. R – materiál se nenahřívá a je přidáván přímo do bubnu míchačky šaržové

obalovny. Problémem bývají nezastřešené skládky R-materiálu. Značné množství vlhkosti v R-materiálu způsobuje při smíchání s horkým kamenivem vznik velkého množství vodní páry. Proto je nutné, aby byly obalovny vybaveny účinným odvětrávacím zařízením. Vzhledem k tomu je maximální množství R-materiálu ve směsi omezeno na max. 25 %. [35] [37]

3.2.2.2. Dávkování R-materiálu předeřhřátého v paralelním bubnu šaržové obalovny

Při této metodě se R-materiál před přidáním do míchačky šaržové obalovny předeřhřívá v paralelním bubnu. Tento proces zvyšuje maximální množství použitého R-materiálu až na 80 %, avšak také zvyšuje nároky na vybavení obalovny. Vzhledem k vysokému podílu R-materiálu ve výsledné směsi je nutno používat R-materiál o vyšší kvalitě. [35] [37]

3.2.2.3. Dávkování R-materiálu v kontinuální obalovně metodou Drum-mix

V kontinuální obalovně může být asfaltová směs s R-materiálem připravována dvěma způsoby. Prvním způsobem je průběžné dávkování přímo do sušícího a ohřívacího bubnu, kde je následně míchán s kamenivem a asfaltovým pojivem. R-materiál je možno přidávat souběžně nebo proti proudu horkého vzduchu. Druhou možností je separátní vysoušení R-materiálu a následné míchaní asfaltové směsi. Technologie Drum-mix umožňuje využití R-materiálu až do výše 50 % z výsledné hmotnosti asfaltové směsi. Nevýhodou je, že kvůli zajištění konstantní kvality vstupních materiálů je nutno používat R-materiál vyšší kvality, který byl frézován a uskladněn odděleně po jednotlivých konstrukčních vrstvách. [35] [37]

4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V rámci bakalářské práce bude hodnocen vliv okrajových podmínek procesu frézování na vedení čáry zrnitosti materiálu, který byl získán frézováním vrstvy asfaltové směsi silniční frézou. Bude posuzováno 6 vzorků získaných při rozdílných rychlostech pojezdu frézy. Zbroušena byla obrusná a ložní vrstva při pomalém, optimálním a rychlém pojezdu silniční frézy. Rozdíly v zrnitosti budou hodnoceny podle ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor* (pro kusový R-materiál i kamenivo získané z R-materiálu). Dále bude provedeno znovuzískání pojiva dle ČSN EN 12697-1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*, na které navazuje postup dle ČSN EN 12697-3 *Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Následně budou provedeny zkoušky na extrahovaném pojivu. Jako první bude provedena zkouška penetrace jehlou dle ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – stanovení penetrace jehlou* a poté bod měknutí podle ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*.

5. POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

V této kapitole budou podrobněji popsány postupy a laboratorní zkoušky které jsem provedl pro vyhodnocení vlivu rychlosti pojezdu silniční frézy na vlastnosti znovuzískaného kameniva a asfaltového pojiva.

5.1. Sítový rozbor

Vykonání této zkoušky se provádí dle ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Principem této zkoušky je rozřídění reprezentativního vzorku kameniva (získaného kvartací) na frakce a klesající velikosti částic. To je provedeno za pomoci kalibrované sady sít. Velikost otvoru a počet sít závisí na druhu vzorku a požadované přesnosti.

5.1.1. Použité přístroje a pomůcky

Zkušební síta, pevně líčující víko a dno sady sít, sušárna pro vysušení kameniva, laboratorní váhy s přesností na $\pm 0,1$ % hmotnosti zkušební navážky, nádoby, štětec, kartáč, prosévací přístroj.

5.1.2. Zkušební postup

5.1.2.1. Prosévání

Suchý vzorek se vysype na sloupec sít (obr.č.22). Sloupec obsahuje určitý počet sít, který závisí na maximální velikosti zrn vzorku a požadovaném rozsahu frakcí. Síta jsou umístěná od síta s největší velikosti otvorů navrchu a postupně se velikosti otvorů zmenšují. Vespod se nachází dno, které zachytává jemné částice $f < 0,063$ mm. Po vysypání požadovaného vzorku se na sloupec umístí víko a ručně nebo mechanicky se s ním zatřepe. V prosévání se pokračuje, dokud všechen materiál, který může propadnout daným sítem, nepropadne. Musí se však zabránit přetěžování sít.



Obrázek č. 22: Sloupec sít [45]

„Aby se zabránilo přetěžování sít, zachycený podíl kameniva by neměl po ukončení prosévání na žádném sítě přesáhnout:

$$\frac{A * \sqrt{d}}{200} \text{ [g]}$$

kde

A je plocha síta, v mm²;

d je velikost otvorů síta, v mm.“

Pokud dojde k přetížení síta:

- a) Vzorek se musí rozdělit na menší podíly, které se prosévají jeden po druhém
- b) Vzorek se rozdělí za pomoci děliče vzorku nebo kvartací, a v prosévání se pokračuje se zmenšeným vzorkem.

V mém případě jsem použil variantu b) a vzorky jsem ještě před přesíváním zmenšil za pomoci kvartace na přibližně 1000g vzorky.

„Prosévání se musí považovat za ukončené, když další prosévání nevede ke změně hmotnosti zachyceného materiálu na jednotlivém síti větší než 1 % hmotnosti.“

5.1.2.2. Vážení

Zachycený materiál na síti s největšími otvory se zváží a jeho hmotnost se zaznamená do tabulky jako R_1 . Postupně se tento proces zopakuje se všemi síty a hmotnost jednotlivých propadů se označí jako R_2, R_3, R_n . Zbylý materiál na dně se taky zváží a označí v tabulce jako P .

5.1.2.3. Vyjádření výsledku

Jednotlivé hmotnosti se zaznamenají do záznamu o zkoušce. Vypočítá se zachycená hmotnost na každém síti jako procento původní suché hmotnosti

$$100 * \frac{R_i}{M_1} [\%]$$

Vypočítá se souhrnné procento propadu každým sítem z původní hmotnosti až k sítu 0,063 mm.

$$100 - \sum (100 * \frac{R_i}{M_1}) [\%]$$

Vypočítá se procento jemných částic f propadlých sítem 0,063 mm.

$$f = \frac{100 * P}{M_1} [\%]$$

Pokud se součet hmotnosti R_i a P odlišuje o víc jak 1 % od hmotnosti M_1 , zkouška se musí opakovat.

5.2. Znovuzískání extrahovaného pojiva

Vykonání této zkoušky se provádí dle ČSN EN 12697-3 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Principem této zkoušky je oddělení asfaltu

ze vzorku asfaltové směsi rozpouštěním v perchlorethylenu. Po odstranění nerozpuštěných pevných částic z asfaltového roztoku se z něho asfalt znovu získá vakuovou destilací za pomoci vakuového destilačního zařízení.

5.2.1. Použité přístroje a pomůcky

Vhodná nádoba s uzávěrem (plechovka), přístroj pro extrakci rozpustného asfaltu, papírový filtr, filtrační patrona, laboratorní baňky o objemu 1l, sada dvou sít (2 mm a 0,063 mm), destilační zařízení, vhodné rozpouštědlo, sušárna. Celý proces probíhá v odvětrávaném prostoru kvůli odvádění výparů z rozpouštědel.

5.2.2. Zkušební postup

5.2.2.1. Extrakce asfaltu a odstranění nerozpustného materiálu

Vzorek asfaltové směsi se umístí do vhodné nádoby v takovém množství, aby obsahoval mezi 120 g a 150 g zpětně získaného pojiva. Pokud je k provedení zkoušky potřeba většího množství pojiva, znovuzískání pojiva musí být zopakováno s novým vzorkem. Vzorek se zaleje rozpouštědlem (perchlorethylenem). Směs se promíchá, rozpouštědlo se nechá působit podle toho, o jak moc zestárnutou směs se jedná, nejméně však 10 minut. Tento proces lze urychlit pomocí mírného zahřívání vzorku s rozpouštědlem za pravidelného míchání. Poté se do patrony vloží papírový filtr, který slouží k zachycení filleru, a patrona se vloží do filtračního zařízení. Zařízení (obr.č.23) se spustí a směs s rozpouštědlem se prolévá skrz sadu sít, která je tvořena sítem o velikosti oka 0,063 mm vespod a sítem o velikosti oka 2 mm nahoře. Síto o velikosti oka 2 mm slouží jako ochrana proti přetržení spodního síta. Postupně se do plechovky doplňuje rozpouštědlo, dokud není kamenivo zcela očištěné od asfaltu a na stěnách plechovky nezůstávají zbytky asfaltového pojiva.



Obrázek 23: Zařízení pro extrakci rozpustného asfaltu [44]

5.2.2.2. Destilace asfaltu

K oddělení asfaltu od rozpouštědla se používá rotační vakuové destilační zařízení (obr.č.24). Destilace by se měla zahájit co nejdříve, nejdéle však do 24 hodin. Čistá baňka se na hrdle potře separačním gelem a umístí se pomocí svorek do přístroje. Chladičem se nechá protékat studená voda. Destilační baňka se uvede do rotace o rychlosti (75 ± 15) otáček za minutu a ponoří se do olejové lázně. Teplota lázně se zvýší na teplotu $T_1 = 110^\circ\text{C}$ a tlak v přístroji se sníží na $P_1 = 40\text{ Pa}$. Otevře se nasávací kohout a asfaltový roztok se nasaje ze skleněné nádoby do destilační baňky. Objem roztoku v destilační baňce by neměl být vyšší než 400 ml, neboť tlak nesmí klesnout pod 80 kPa. Po nasátí veškerého asfaltového roztoku se teplota olejové lázně zvýší na teplotu $T_2 = 160^\circ\text{C}$. Vývěva se odpojí a tlak se pozvolna nechá klesnout na hodnotu $P_2 = 2,0\text{ kPa}$. V destilaci se pokračuje, dokud neskončí odpařování rozpouštědla a na asfaltu v destilační baňce se nepřestanou tvořit bublinky. Takto získané čisté pojivo se rozlije do předem připravených zkušebních forem.



Obrázek č. 24: Destilační zařízení [44]

5.3. Penetrace jehlou

Vykonání této zkoušky se provádí dle ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Principem této zkoušky je stanovení hloubky průniku hrotu jehly do vzorku asfaltu s přesností na 0,1 mm.

5.3.1. Použité přístroje a pomůcky

Penetrometr, penetrační jehla, zkušební forma, vodní lázeň, zařízení na měření teploty, zařízení na měření času.

5.3.2. Zkušební postup

5.3.2.1. Příprava vzorků

Nejdříve je potřebné přenést vzorek do vhodné nádoby. Hmotnost vzorku by neměla být nižší než 100 g. Vzorek se nechá zchladnout a poté se temperuje ve vodní lázni na teplotu 25°C. Po vytemperování se vzorek umístí do penetrometru.

5.3.2.2. Stanovení penetrace

Penetrometr (obr.č.25) se vynuluje a nastaví se doba zatížení. Penetrační jehlu je nutno očistit a po osazení nastavit tak aby její hrot byl těsně nad povrchem vzorku. Poté se jehla zatíží závažím o hmotnosti 100 g a při teplotě 25 °C se nechá volně vtlačet do vzorku po dobu 5 s. Zkouška se provede minimálně 3x pro každý vzorek. Minimální vzdálenost vpichu je 10 mm od sebe a od kraje nádoby. Pro každé stanovení se použije čistá jehla.



Obrázek č. 25: Penetrometr [43]

5.3.2.3. Vyjádření výsledku

Výsledky jsou akceptovatelné, pokud rozsah stanovených hodnot nepřekročí příslušné hodnoty uvedené v tab. č. 2.

Tabulka č. 2 - Maximální rozdíl platných stanovení [28]

Penetrace v 0,1mm	do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením	2	4	6	8

5.4. Bod měknutí metodou kroužek a kulička (KK)

Vykonání této zkoušky se provádí dle ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Principem této zkoušky je zahřívání dvou kotoučků z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích, řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém kotoučku se nachází ocelová kulička. Bod měknutí se zaznamenává jako průměr teplot, při kterých tyto dva kotoučky změknou natolik, že se pod vahou ocelové kuličky propadnou o vzdálenost $(25,0 \pm 0,4)$ mm.

5.4.1. Použité přístroje a pomůcky

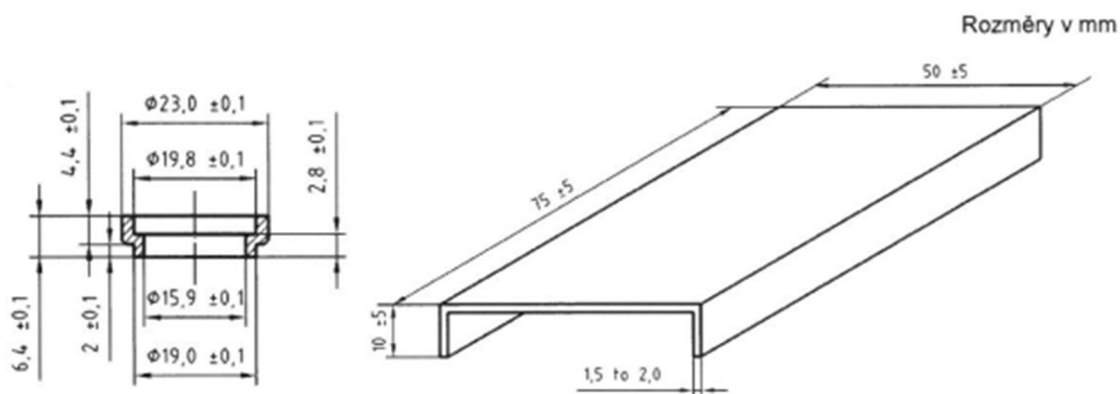
Lázeň s destilovanou vodou, separační prostředek, automatické zkušební zařízení pro KK, kroužky, odlévací destička, kuličky, držák kroužků a sestava.

5.4.2. Zkušební postup

5.4.2.1. Příprava vzorků

Mosazné kroužky o vnitřním průměru $(15,9 \pm 0,1)$ mm se zahřejí na teplotu, která je maximálně o 100 °C vyšší než předpokládaný bod měknutí. Poté se na odlévací destičku, kterou tvoří plech s hladkým povrchem o rozměru 50x75x2 mm, nanese separační roztok. Při nanášení separačního roztoku je nutno dát si pozor na použité množství. Příliš velké množství separačního roztoku bude mít za následek zkreslení výsledku zkoušky. Nahřátý asfalt se nalije do kroužků s mírným přebytkem a dá se na 30 minut zchladnout. Po zchladnutí se přebytečný asfalt seřízne nahřátým nožem nebo špachtlí tak, aby povrch každého vzorku byl zarovnan s okrajem kroužku. Seříznutí se

provádí krátce před umístěním vzorku do vodní lázně. Tímto způsobem se zabraňuje kontaminaci vzorku. Vzorky se umístí do vodní lázně, která je tvořena převařenou a ochlazenou destilovanou vodou, nebo deionizovanou vodou. Počáteční teplota lázně je $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Na obrázku č. 26 je zachyceno schéma mosazného kroužku a odlévací destičky.



Obrázek č. 26: Kroužek a odlévací destička [28]

5.4.2.2. Stanovení bodu měknutí

Následuje sestavení zkušebního přístroje. Kvůli rovnoměrnému rozdělení tepla ve vodní lázni se do ní umístí magnetické nebo vrtulové míchadlo s topnou plotýnkou, které je obalené míchací tyčinkou o délce 40 mm a průměru 8 mm. Točí se rychlostí 100 ot/min. Do středícího zařízení se ze pomoci chemických kleští umístí korozivzdorné kuličky o průměru $(9,5 \pm 0,05)$ mm a hmotnosti $(3,5 \pm 0,05)$ g. Poté, co se započne se s ohříváním a mícháním, se zkontroluje počáteční teplota, jestli je v mezích $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Kapalina v lázni se zahřívá rychlostí $5 ^\circ\text{C}/\text{min}$. U každého kroužku a kuličky se automaticky zaznamená teplota v okamžiku, kdy se asfalt pod vahou kuličky propadne o vzdálenost $(25 \pm 0,4)$ mm a tím se dotkne paprsku světla. Začátek zkoušky je zobrazen na obrázku č. 27.



Obrázek č. 27: Začátek zkoušky KK

5.4.2.3. Vyjádření výsledků

Výsledkem této zkoušky je průměr naměřených hodnot v °C, který se zaokrouhlí na nejbližších:

- 0,2 °C pro bod měknutí ≤ 80 °C
- 0,5 °C pro bod měknutí > 80 °C

Zkouška se opakuje pokud:

- Je rozdíl mezi 2 teplotami větší než 1 °C pro bod měknutí pod 80 °C
- Je rozdíl mezi 2 teplotami větší než 2 °C pro bod měknutí nad 80 °C
- Je rozdíl mezi 2 teplotami větší než 2 °C u modifikovaných asfaltů
- Kulička poruší vrstvu, kterou je obalena.

6. POUŽITÉ MATERIÁLY

V bakalářské práci jsem použil celkem šest vzorků R-materiálu. Jedná se o tři vzorky ze zfrézované obrušné vrstvy vozovky a tři vzorky ze zfrézované ložní vrstvy vozovky. Vzorky byly pořízené při rozdílné rychlosti pojezdu silniční frézy a to pomalý, optimální a rychlý pojezd. Jednotlivé vzorky a jejich označení je popsáno v tabulce č.3.

Tabulka č. 3: Označení použitého R-materiálu

Označení	Vrstva vozovky	Rychlost pojezdu	Úsek č.
6 ACO - P	obrusná	pomalá	6
7 ACO - O	obrusná	optimální	7
8 ACO - R	obrusná	rychlá	8
6 ACL - P	ložní	pomalá	6
7 ACL - O	ložní	optimální	7
8 ACL - R	ložní	rychlá	8

7. VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky všech zkoušek, které jsem provedl dle postupů popsanych v kapitole 4. Použité zkušební metody.

7.1.Kusová zrnitost R-materiálu

Jako první zkouška byla na vzorcích provedena kusová zrnitost R-materiálu dle normy *ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Jedná se o provedení sítového rozboru na R-materiálu, který nebyl v laboratoři nijak upraven, tzn. obsahuje asfaltové pojivo. Zkouška byla provedena za předepsaných podmínek této normy. Výsledkem této zkoušky jsou čáry zrnitosti, které jsou vyobrazeny v následujících grafech.

7.1.1. R-materiál z obrusné vrstvy vozovky

První zpracované vzorky pocházejí z obrusné vrstvy vozovky. Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulkách č. 4, 5, 6 a porovnány v grafu č. 1.

Tabulka č. 4: Sítový rozbor 6 ACO-P

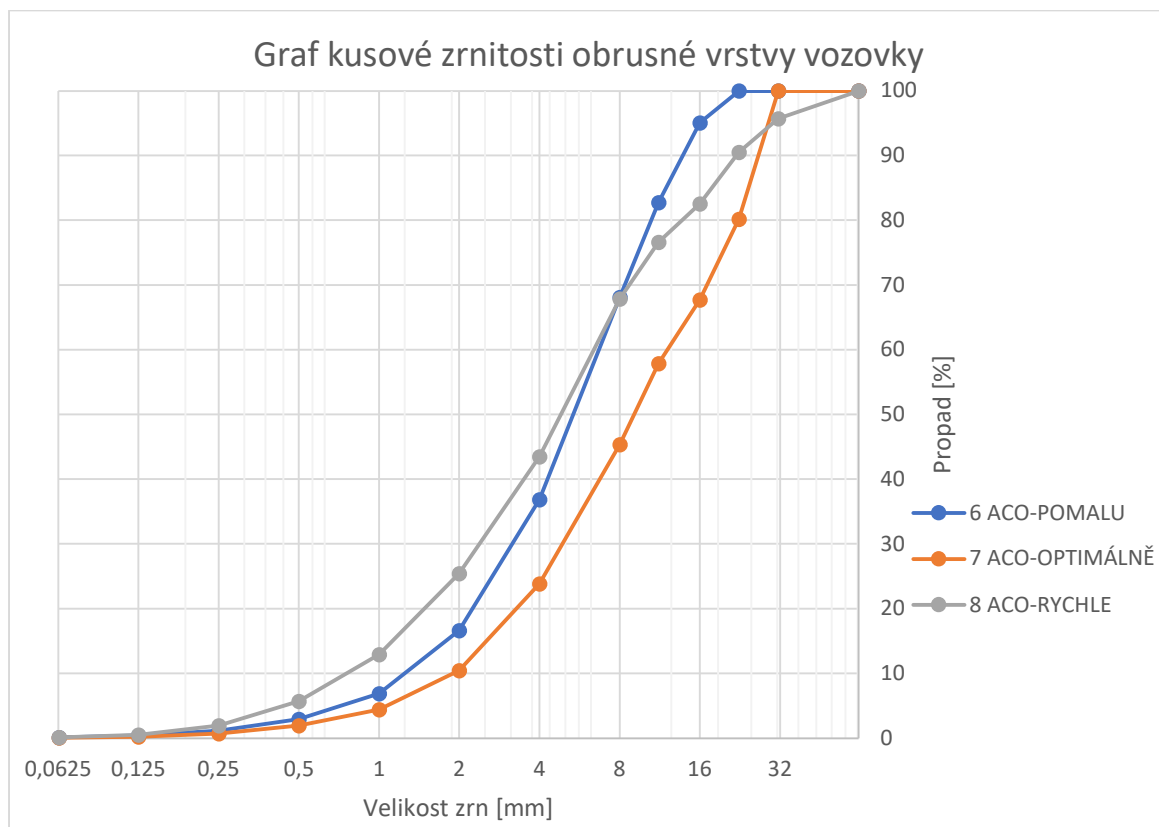
KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle	6 ACO - POMALU
Celková suchá hmotnost M_1 [g]				1023,1
Suchá hmotnost po praní M_2 [g]				-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R_i [g]	Procento zbytku na sítech $100 \cdot R_i / M_1$ [%]	Souhrnné procento propadu $100 - \sum (100 \cdot R_i / M_1)$ [%]	
63	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	100,0	
16	50,6	4,9	95,1	
11,2	126,2	12,3	82,7	
8	149,6	14,6	68,1	
4	319,9	31,3	36,8	
2	206,6	20,2	16,6	
1	100,0	9,8	6,9	
0,5	40,4	3,9	2,9	
0,25	18,3	1,8	1,1	
0,125	7,4	0,7	0,4	
0,063	2,8	0,3	0,1	
P (zbytek na dně)	1,2	-	-	
Kontrola:	$[M_1 - (\sum R_i + P)] \cdot 100 / M_1 = \dots$ [%] < 1%			0,01
f – procento jemných částic $f = 100P / M_1$ [%]			0,12	

Tabulka č. 5: Sítový rozbor 7 ACO-O

KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle 7 ACO - OPTIMÁLNĚ
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			1045,0
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítech 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	207,0	19,8	80,2
16	130,6	12,5	67,7
11,2	102,6	9,8	57,9
8	131,0	12,5	45,3
4	224,5	21,5	23,9
2	140,4	13,4	10,4
1	62,6	6,0	4,4
0,5	26,3	2,5	1,9
0,25	12,6	1,2	0,7
0,125	5,2	0,5	0,2
0,063	1,6	0,2	0,1
P (zbytek na dně)	0,6	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,00
f – procento jemných částic f = 100P/M ₁ [%]			0,06

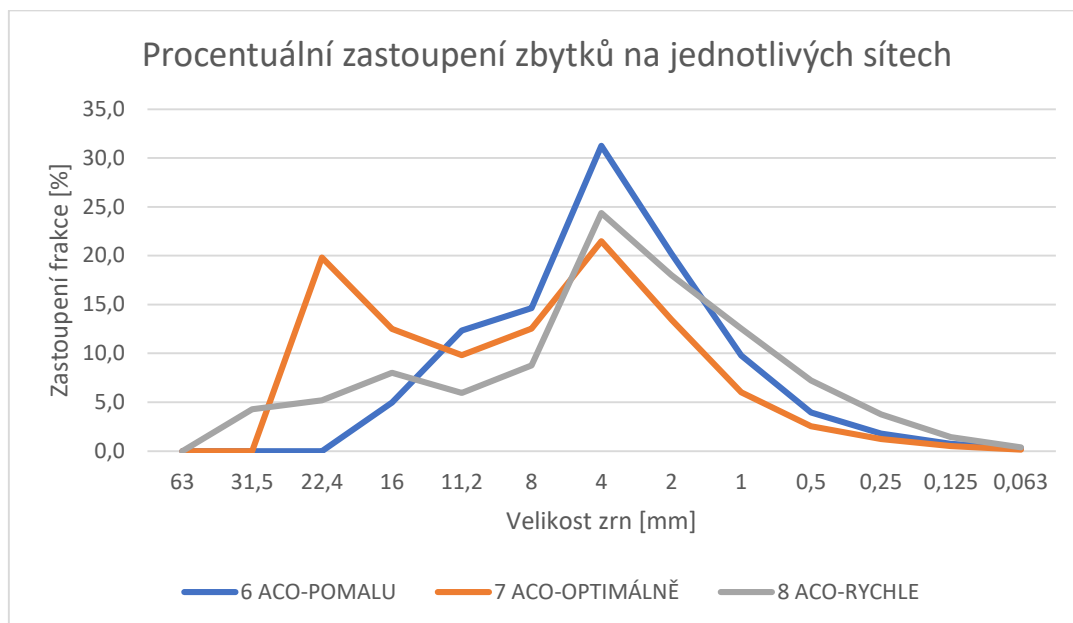
Tabulka č. 6: Sítový rozbor 8 ACO-R

KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle	8 ACO - RYCHLE
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]				1117,1
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]				-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítech 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]	
63	0,0	0,0	100,0	
31,5	47,8	4,3	95,7	
22,4	58,0	5,2	90,5	
16	89,4	8,0	82,5	
11,2	66,2	5,9	76,6	
8	97,9	8,8	67,8	
4	272,3	24,4	43,5	
2	201,2	18,0	25,4	
1	140,0	12,5	12,9	
0,5	80,8	7,2	5,7	
0,25	42,0	3,8	1,9	
0,125	16,0	1,4	0,5	
0,063	4,3	0,4	0,1	
P (zbytek na dně)	1,2	-	-	
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%			0,00
f – procento jemných částic f = 100P/M ₁ [%]				0,11



Graf č. 1: Kusová zrnitost obrusné vrstvy vozovky

Z výše uvedených tabulek a grafu je patrné, že rychlost pojezdu silniční frézy má vliv na kusovou zrnitost obrusné vrstvy, protože zrnitost jednotlivých vzorků se vzájemně liší. Z tohoto grafu vyplývá, že nejhrubozrnnější je oranžová (optimální) a nejjemnozrnnější je šedá (rychlá). V následujícím grafu (graf č. 2) je znázorněno, jak ovlivňuje rychlost pojezdu silniční frézy zastoupení jednotlivých frakcí ve vzorku.



Graf č. 2: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro obrusnou vrstvu

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že při pomalém pojezdu silniční frézy dochází k nerovnoměrnému zastoupení frakcí, kde největší zastoupení mají frakce 2 mm až 8 mm. Nejrovnoměrnější zastoupení jednotlivých frakcí docílíme při optimální rychlosti pojezdu silniční frézy. Při rychlém pojezdu dochází znovu ke shlukování frakcí.

7.1.2. Materiál z ložní vrstvy vozovky

Dále byly zpracovány vzorky z ložní vrstvy vozovky. Výsledky jsou zaznamenány v tabulkách č. 7, 8, 9 a porovnány v grafu č. 3.

Tabulka č. 7: Sítový rozbor 6 ACL-P

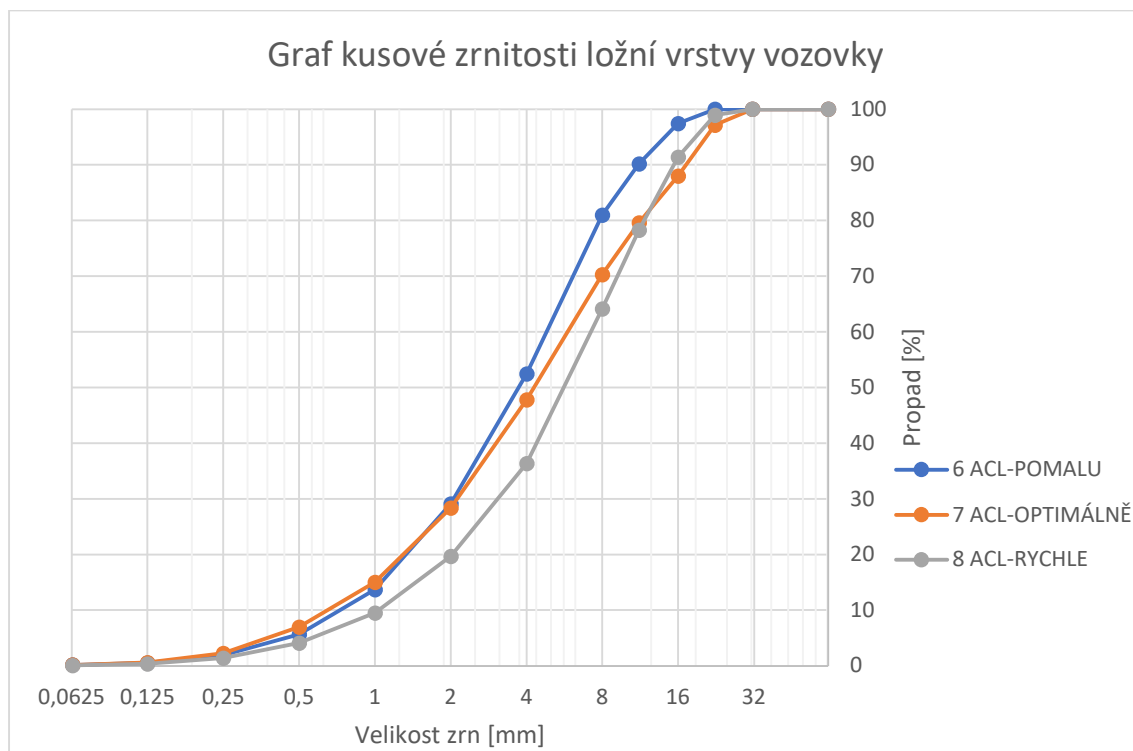
KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle	6 ACL - POMALU
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]				1055,3
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]				-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítech 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]	
63	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	100,0	
16	27,3	2,6	97,4	
11,2	76,1	7,2	90,2	
8	97,0	9,2	81,0	
4	301,4	28,6	52,4	
2	246,1	23,3	29,1	
1	163,0	15,4	13,7	
0,5	84,7	8,0	5,7	
0,25	39,8	3,8	1,9	
0,125	14,2	1,3	0,5	
0,063	4,0	0,4	0,2	
P (zbytek na dně)	1,5	-	-	
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%			0,02
f – procento jemných částic f = 100P/M ₁ [%]				0,14

Tabulka č. 8: Sítový rozbor 7 ACL-O

KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle 7 ACL - OPTIMÁLNĚ
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			1033,7
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítech 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	29,4	2,8	97,2
16	94,8	9,2	88,0
11,2	86,6	8,4	79,6
8	96,5	9,3	70,3
4	232,2	22,5	47,8
2	200,9	19,4	28,4
1	138,1	13,4	15,0
0,5	83,3	8,1	7,0
0,25	48,6	4,7	2,3
0,125	17,1	1,7	0,6
0,063	4,5	0,4	0,2
P (zbytek na dně)	1,4	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,03
f – procento jemných částic f = 100P/M ₁ [%]			0,14

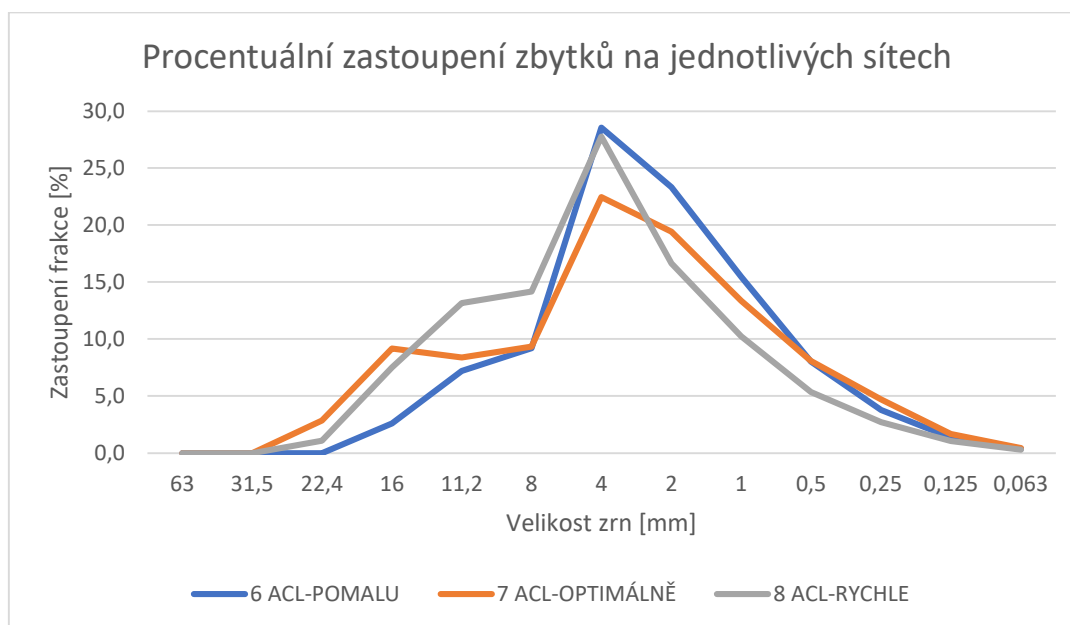
Tabulka č. 9: Sítový rozbor 8 ACL-R

KUSOVÁ ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR ČSN EN 933-1			dle	8 ACL - RYCHLE
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]				1110,9
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]				-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítech 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]	
63	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	100,0	
22,4	11,9	1,1	98,9	
16	83,4	7,5	91,4	
11,2	146,0	13,1	78,3	
8	157,3	14,2	64,1	
4	308,6	27,8	36,3	
2	184,8	16,6	19,7	
1	113,6	10,2	9,5	
0,5	59,5	5,4	4,1	
0,25	30,1	2,7	1,4	
0,125	11,5	1,0	0,4	
0,063	3,1	0,3	0,1	
P (zbytek na dně)	0,9	-	-	
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%			0,02
f – procento jemných částic f = 100P/M ₁ [%]				0,08



Graf č. 3: Kusová zrnitost ložní vrstvy vozovky

Z výše uvedených tabulek a grafu vyplývá, že rychlost pojezdu silniční frézy má menší vliv při frézování ložní vrstvy vozovky, avšak stále dochází ke znatelné změně čáry zrnitosti vyfrézovaného materiálu.



Graf č. 4: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro ložní vrstvu

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že shlukování frakcí znova probíhá v rozmezí 8 mm až 2 mm, avšak rozdíl mezi pomalým a rychlým pojezdem frézy je méně výrazný. Nejhrubozrnnější materiál dosáhneme při rychlém pojezdu silniční frézy (šedá), nejjemnozrnnější pak při pomalém pojezdu silniční frézy (modrá). Nejvíce homogenní materiál dosáhneme při optimální rychlosti silniční frézy.

7.2.Extrakce pojiva a jeho znovuzískání, obsah pojiva ve vzorku

Jako další byla provedena extrakce pojiva ze vzorku dle ČSN EN 12697-3 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Zkouška byla provedena za předepsaných podmínek této normy. Výsledkem této zkoušky je množství pojiva ve vzorku, které je znázorněno v tab. č. 10.

Tabulka č. 10: Množství pojiva ve vzorku

Vzorek	Kamenivo [g]		Filler	Obsah pojiva	
	K.	O.K.	[g]	[g]	[%]
6 ACO-P	1022,3	843,9	113,5	64,9	6,3
7 ACO-O	1044,5	896,3	78,9	69,3	6,6
8 ACO-R	1116,3	947,6	96,7	72,0	6,4
6 ACL-P	1054,4	872,8	117,8	63,8	6,1
7 ACL-O	1029,6	870,9	94,6	64,1	6,2
8 ACL-R	1110,5	959,6	91,0	59,9	5,4

K.– Kamenivo s obsahem asfaltu.

O.K. – Omyté kamenivo, bez obsahu asfaltu a filleru

7.3.Zrnitost kameniva získaného z R-materiálu

Poté byla znovu vykonána zkouška na zrnitost, tentokrát se však jednalo o kamenivo, které bylo zbaveno pojiva. Postupovalo se dle normy ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Zkouška byla provedena za předepsaných podmínek této normy. Výsledkem této zkoušky je čára zrnitosti kameniva.

7.3.1. Kamenivo z obrusné vrstvy vozovky

První zpracované vzorky v této zkoušce pocházejí z obrusné vrstvy vozovky. Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulkách č. 11, 12, 13 a porovnány v grafu č. 4.

Tabulka č. 11: Sítový rozbor 6 ACO-P

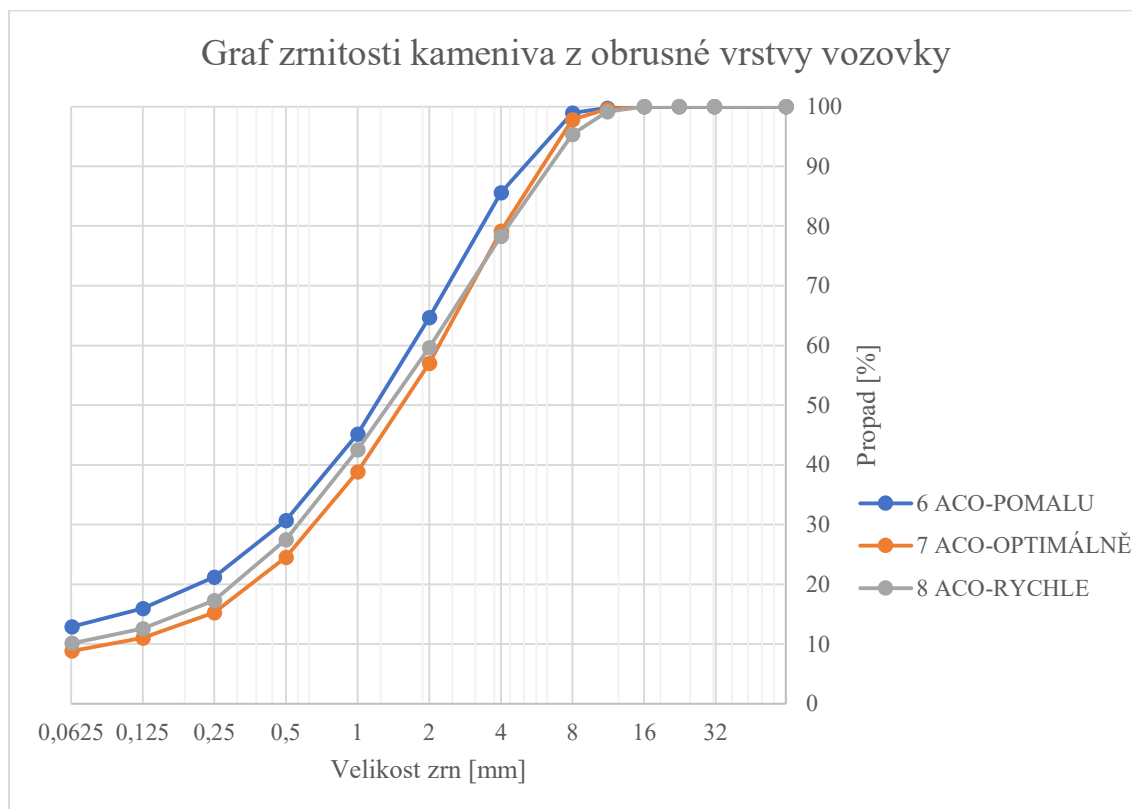
ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			6 ACO - POMALU
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			957,4
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu Ri [g]	Procento zbytku na sítěch 100*Ri/M1 [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*Ri/M1) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	2,4	0,3	99,7
8	7,9	0,8	98,9
4	127,7	13,3	85,6
2	199,8	20,9	64,7
1	187,1	19,5	45,2
0,5	138,3	14,4	30,7
0,25	90,8	9,5	21,2
0,125	50,5	5,3	16,0
0,063	29,0	3,0	12,9
P (zbytek na dně)	123,5	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣRi+P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,04
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			12,90

Tabulka č. 12: Sítový rozbor 7 ACO-O

ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			7 ACO - OPTIMÁLNĚ
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			975,2
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítěch 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	4,3	0,4	99,6
8	16,8	1,7	97,8
4	181,9	18,7	79,2
2	216,3	22,2	57,0
1	176,9	18,1	38,9
0,5	139,5	14,3	24,6
0,25	90,3	9,3	15,3
0,125	41,3	4,2	11,1
0,063	21,2	2,2	8,9
P (zbytek na dně)	86,6	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,01
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			8,88

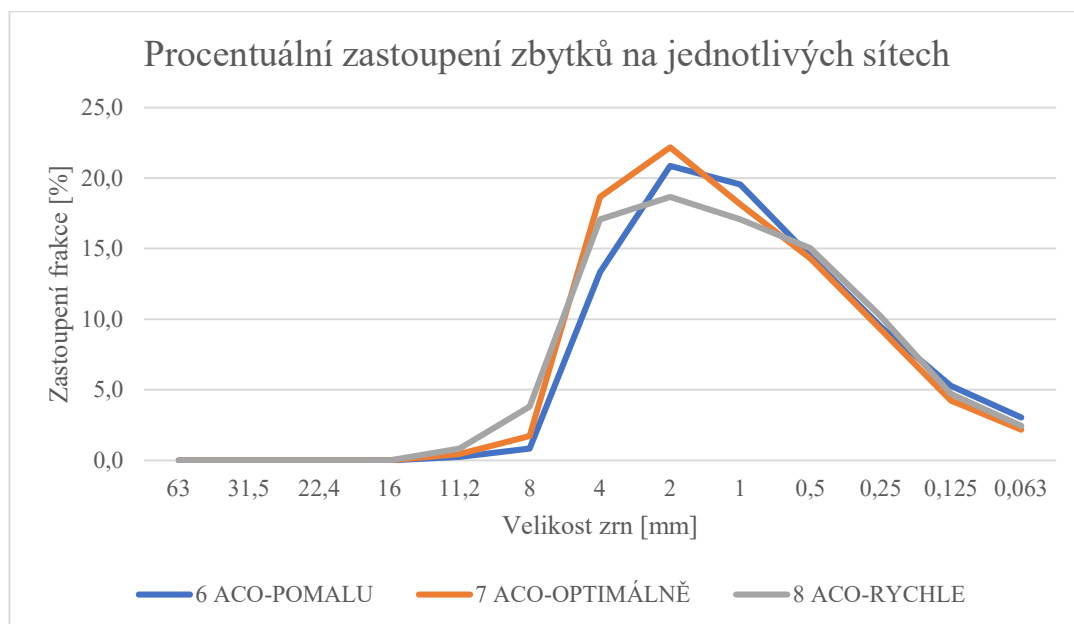
Tabulka č. 13: Sítový rozbor 8 ACL-R

ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			8 ACO - RYCHLE
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			1044,3
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítích 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	8,7	0,8	99,2
8	39,6	3,8	95,4
4	178,3	17,1	78,3
2	195,0	18,7	59,6
1	178,4	17,1	42,5
0,5	156,9	15,0	27,5
0,25	106,6	10,2	17,3
0,125	49,1	4,7	12,6
0,063	25,5	2,4	10,2
P (zbytek na dně)	106,2	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,00
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			10,17



Graf č. 5: Zrnitost kameniva z obrusné vrstvy vozovky

Po odplavení asfaltu ze získaného materiálu se ukázalo, že konečný vliv rychlosti pojezdu silniční frézy na kamenivo z obrusné vrstvy vozovky je velmi malý.



Graf č. 6: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro obrusnou vrstvu

Vzhledem k velmi malým rozdílům čáry zrnitosti jsem pro přehlednost dalšího porovnání vybral vzorek 7 ACO-OPTIMÁLNĚ jako reprezentativní. Abych zjistil, k čemu lze konkrétní R-materiál co nejlépe využít, bude dále porovnána čára zrnitosti reprezentativního vzorku s čárami zrnitosti zjištěnými výpočtem Fullerovy paraboly pomocí vzorce:

$$y = 100 * \left(\frac{d}{D}\right)^{0,5}$$

kde

y – procentuální propad sítem o průměru oka **d** [%]

d – průměr oka síta [mm]

D – maximální velikost oka v soustavě sít [mm]

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách (tab. č. 14, 15).

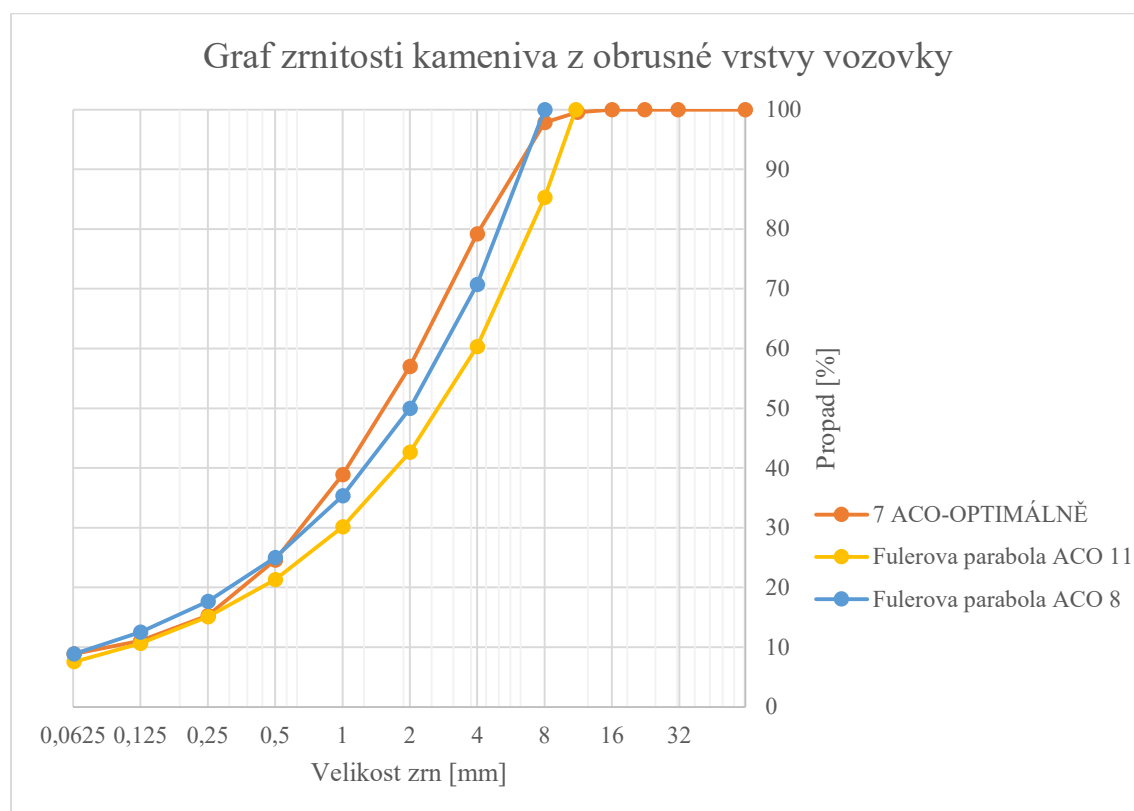
Tabulka č. 14: Fullerova parabola pro ACO 11

Fullerova parabola ACO 11		
ACO 11	Souhrnné procento propadu [%]	Procento zbytku na sítích [%]
11	100,0	0,0
8	85,3	14,7
4	60,3	25,0
2	42,6	17,7
1	30,2	12,5
0,5	21,3	8,8
0,25	15,1	6,2
0,125	10,7	4,4
0,063	7,6	3,1
Filler	0,0	7,6

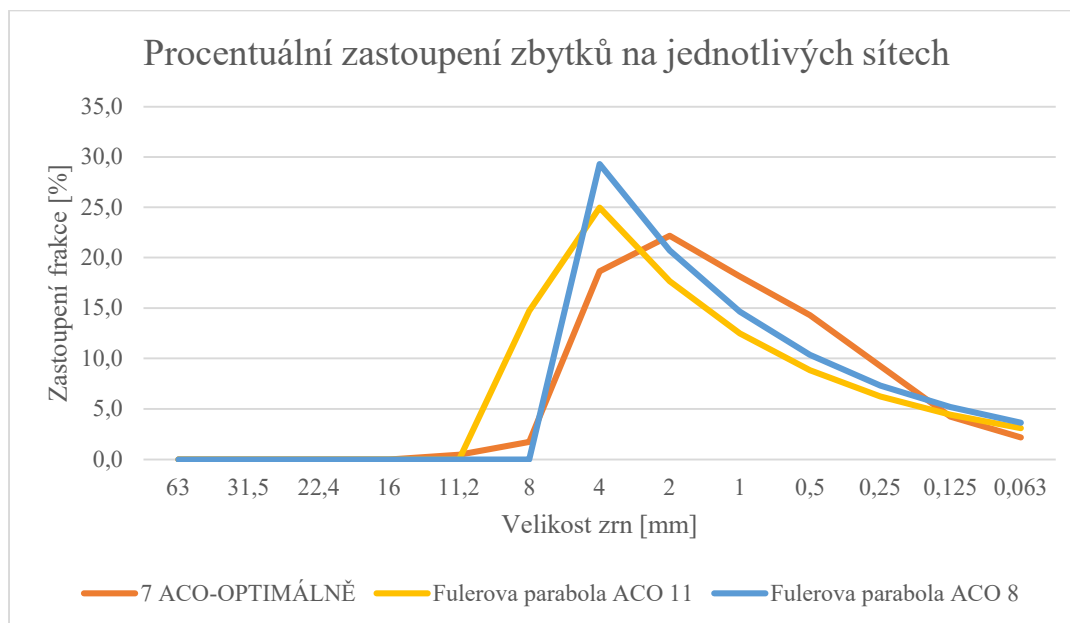
Tabulka č. 15: Fullerova parabola pro ACO8

Fullerova parabola ACO 8		
ACO 8	Souhrnné procento propadu [%]	Procento zbytku na sítích [%]
8	100,0	0,0
4	70,7	29,3
2	50,0	20,7
1	35,4	14,6
0,5	25,0	10,4
0,25	17,7	7,3
0,125	12,5	5,2
0,063	8,9	3,6
Filler	0,0	8,9

Z výsledku těchto tabulek jsem sestrojil čáru zrnitosti, která je v následujících grafech (graf č. 7, 8) porovnána s čárou zrnitosti vzorku 7 ACO-OPTIMÁLNĚ.



Graf č. 7: Porovnání čár zrnitosti



Graf č. 8: Porovnání procentuálních zastoupení frakcí

Z grafů vyplývá, že získaný R-materiál odpovídá Fullerově parabole vytvořené pro asfaltovou směs typu asfaltový beton se zrnitostí do 8 mm, kde vyžaduje jen mírné doplnění hrubších frakcí.

7.3.2. Kamenivo z ložní vrstvy vozovky

Jako poslední bylo zpracováno a vyhodnoceno kamenivo z ložní vrstvy vozovky. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následujících tabulkách (tab. č. 16, 17 a 18) a grafu č. 9.

Tabulka č. 16: Sítový rozbor 6 ACL-P

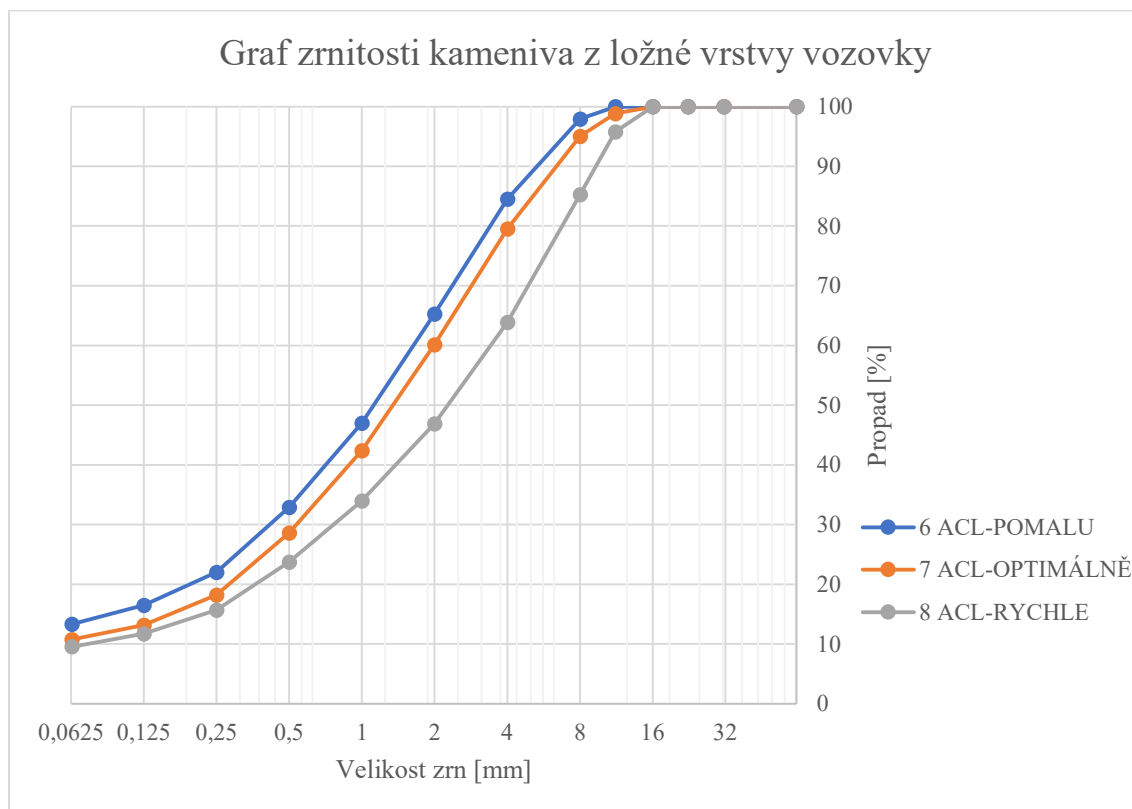
ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			6 ACL - POMALU
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			990,7
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítích 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100x R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	0,0	0,0	100,0
8	20,5	2,1	97,9
4	132,6	13,4	84,5
2	190,8	19,3	65,3
1	181,1	18,3	47,0
0,5	139,6	14,1	32,9
0,25	108,1	10,9	22,0
0,125	54,6	5,5	16,5
0,063	31,2	3,1	13,3
P (zbytek na dně)	131,7	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,05
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			13,29

Tabulka č. 17: Sítový rozbor 7 ACL-O

ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			7 ACL - OPTIMÁLNĚ
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			965,5
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítěch 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	11,5	1,2	98,8
8	36,3	3,8	95,0
4	149,8	15,5	79,5
2	187,1	19,4	60,2
1	171,4	17,8	42,4
0,5	133,3	13,8	28,6
0,25	100,2	10,4	18,2
0,125	48,7	5,0	13,2
0,063	23,2	2,4	10,8
P (zbytek na dně)	104,0	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,00
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			10,77

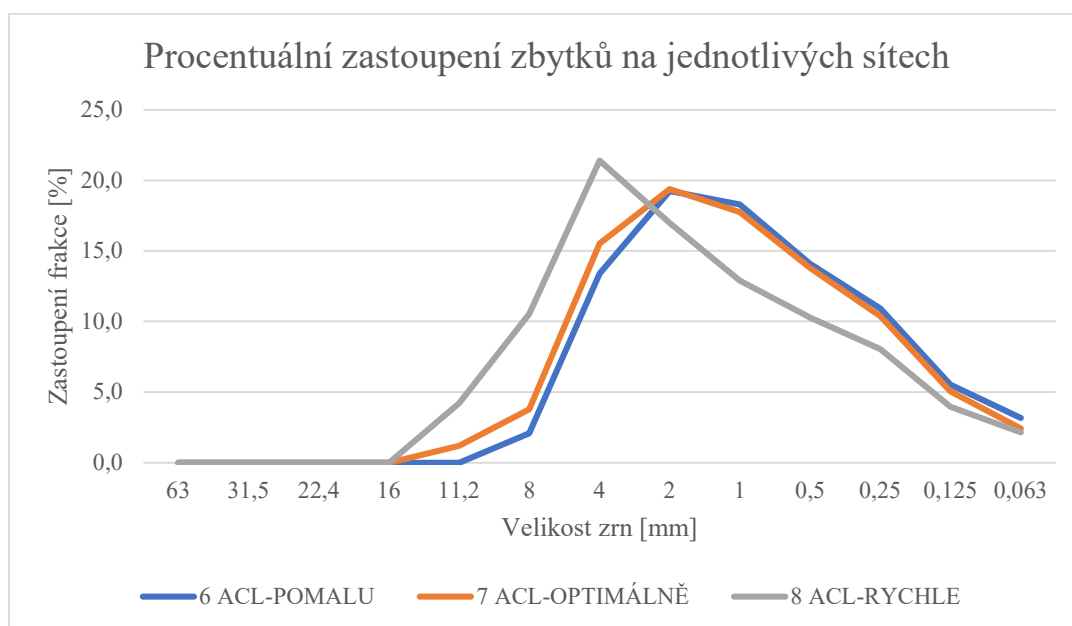
Tabulka č. 18: Sítový rozbor 8 ACL-R

ZRNITOST KAMENIVA - SÍTOVÝ ROZBOR dle ČSN EN 933-1			8 ACL - RYCHLE
Celková suchá hmotnost M ₁ [g]			1050,6
Suchá hmotnost po praní M ₂ [g]			-
Velikost otvorů síta [mm]	Hmotnost zachyceného materiálu R _i [g]	Procento zbytku na sítích 100*R _i /M ₁ [%]	Souhrnné procento propadu 100-Σ(100*R _i /M ₁) [%]
63	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	100,0
11,2	44,1	4,2	95,8
8	110,5	10,5	85,3
4	225,0	21,4	63,9
2	178,4	17,0	46,9
1	135,5	12,9	34,0
0,5	107,9	10,3	23,7
0,25	84,5	8,0	15,7
0,125	41,6	4,0	11,7
0,063	22,4	2,1	9,6
P (zbytek na dně)	100,5	-	-
Kontrola:	[M ₁ -(ΣR _i +P))*100]/M ₁ =...[%]<1%		0,02
f - procento jemných částic f = 100P/M ₁			9,57



Graf č. 9: Zrnitost kameniva z ložné vrstvy vozovky

Z grafu vyplývá, že vliv rychlosti pojezdu silniční frézy na zrnitost kameniva je u ložní vrstvy mnohem výraznější než u ohrusné vrstvy. Nejhrubozrnnější je šedá (8 ACL-RYCHLE) a nejjemnozrnnější je modrá (6 ACL-POMALU).



Graf č. 10: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro ložní vrstvu

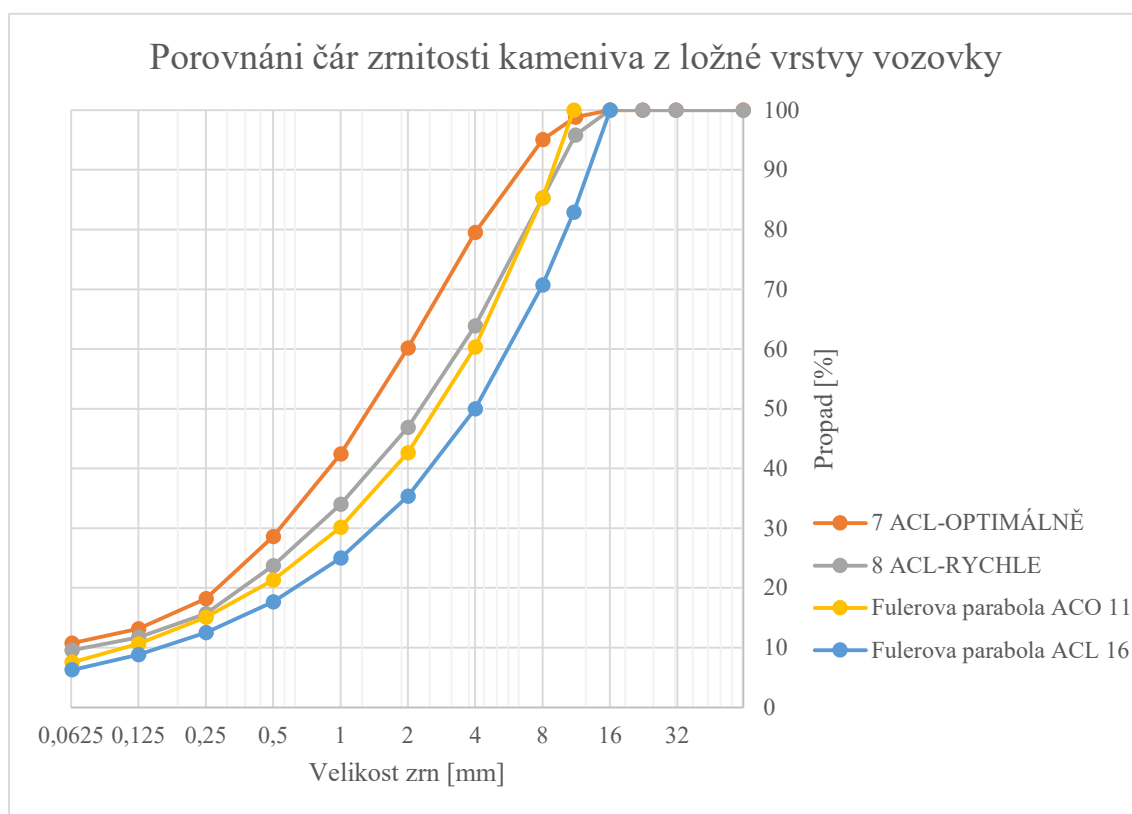
Optimální a pomalá rychlost pojezdu silniční frézy má téměř identický vliv na čáru zrnitosti, výsledky jsou téměř totožné. Vzorek získaný při rychlém pojezdu silniční frézy je ale velmi odlišný. Dochází u něho k většímu zachování zrn vyšších frakcí (graf č. 10). Jelikož se jednotlivé čáry od sebe výrazně liší, nebylo možné vybrat jeden reprezentativní vzorek. Proto budou porovnány výsledky vzorku 7 ACL-OPTIMÁLNĚ a 8 ACL-RYCHLE s ideální čárou zrnitosti, zjištěnou za pomoci Fullerovy paraboly. Ideální čáry byly vypočítány pomocí vzorce uvedeného v kapitole 7.3.1. a následně shrnuty do tabulky č. 19, 20 a grafu č. 11, 12.

Tabulka č. 19: Fullerova parabola pro ACO 11

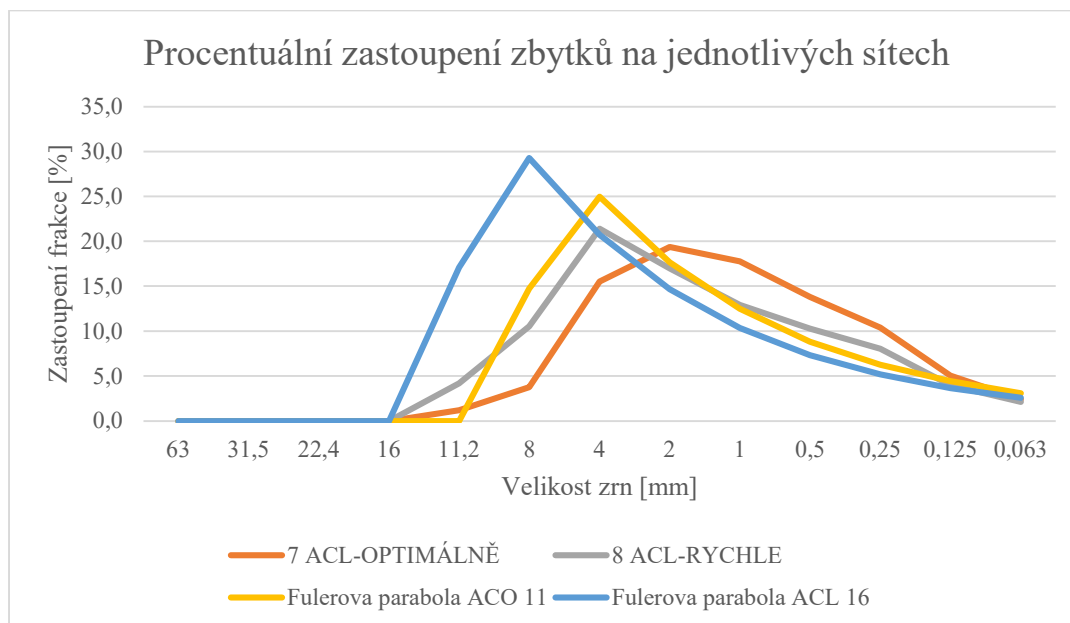
Fullerova parabola pro ACO 11		
ACO 11	Souhrnné procento propadu [%]	Procento zbytku na sítích [%]
11	100,0	0,0
8	85,3	14,7
4	60,3	25,0
2	42,6	17,7
1	30,2	12,5
0,5	21,3	8,8
0,25	15,1	6,2
0,125	10,7	4,4
0,063	7,6	3,1
Filler	0,0	7,6

Tabulka 20: Fullerova parabola pro ACL 16

Fullerova parabola pro ACL 16		
ACL 16	Souhrnné procento propadu [%]	Procento zbytku na sítích [%]
16	100,0	0,0
11	82,9	17,1
8	70,7	29,3
4	50,0	50,0
2	35,4	64,6
1	25,0	75,0
0,5	17,7	82,3
0,25	12,5	87,5
0,125	8,8	91,2
0,063	6,3	93,7
Filler	0,0	100,0



Graf č. 11: Porovnání čar zrnitosti

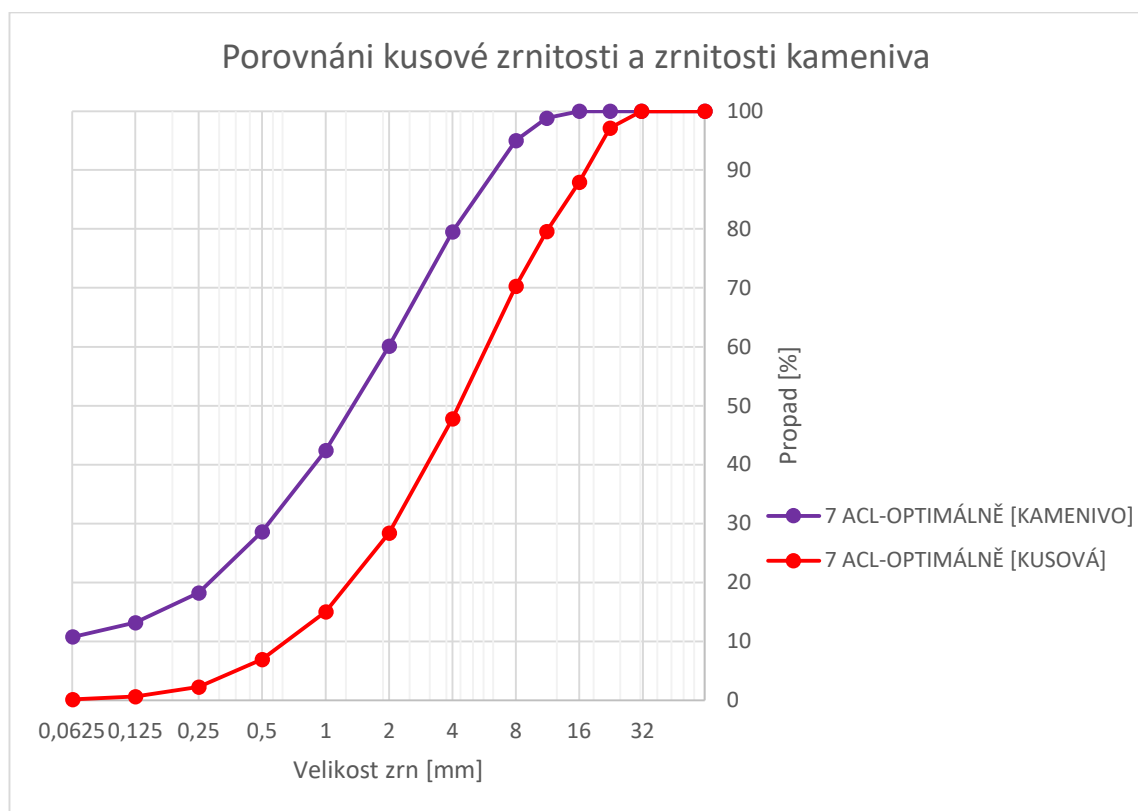


Graf č. 12: Porovnání procentuálních zastoupení frakcí

Z předcházejících grafů vyplývá, že při rychlém pojezdu silniční frézy je získaný R-materiál téměř ideální pro použití ve směsi ACO 11.

7.4. Porovnání čar zrnitosti

V následující kapitole bude porovnána kusová zrnitost se zrnitostí vyextrahovaného kameniva. Jako reprezentativní vzorek pro porovnání jsem vybral vzorek 7 ACL-OPTIMÁLNE. Výsledky jsou zobrazeny na grafu č.13.



Graf č. 13: Porovnání kusové zrnitosti a zrnitosti kameniva

Z grafu je patrné, že zrnitost kameniva je mnohem jemnozrnější než kusová zrnitost. Důvodem je zachycení filleru za pomoci pojiva na hrubší zrna kameniva.

7.5. Penetrace jehlou

Následovala zkouška penetrace jehlou dle ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Tato zkouška byla vykonána jen na dvou vzorcích za účelem ověření použitého pojiva do různých vrstev vozovky. Výsledky jsou zaznamenány v tab. č. 16.

Tabulka č. 21: Výsledky zkoušky penetrace jehlou

Vzorek	Penetrace jehlou					
	1. měření	2. měření	3. měření	Maximální odchylka	Maximální povolená odchylka	Průměr
	[0,1 mm]	[0,1 mm]	[0,1 mm]	[0,1 mm]	[0,1 mm]	[0,1 mm]
8 ACO-R	28,3	27,9	27,4	0,9	2,0	27,9
8 ACL-R	34,5	34,3	33,7	0,8	2,0	34,2

Rozdílné hodnoty penetrace jehlou na ohrusné a ložní vrstvě jsou způsobeny zestárnutím pojiva z výroby na obalovně a dlouhodobým užíváním vrstev vozovky. Více zestárlá je ohrusná vrstva vlivem dlouhodobého působení povětrnostních vlivů. Asfalt dosahuje třídy 20/30 (ohrusná) resp. 30/45 (ložní).

7.6. Bod měknutí

Poslední zkouška byla na určení bodu měknutí extrahovaného pojiva dle ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Tato zkouška byla také vykonána jenom na dvou vzorcích za účelem ověření použitého pojiva do různých vrstev vozovky. Výsledky jsou shrnuty v tab. č 22.

Tabulka č. 22 - Bod měknutí

Bod měknutí [°C]				
	1. měření	2. měření	Odchylka	Průměr
8 ACO-R	55,6	55,5	0,1	55,55
8 ACL-R	52,9	52,7	0,2	52,8

Mezi vzorkem asfaltu získaným z ohrusné vrstvy a vzorkem asfaltu získaným z ložní vrstvy existují drobné odchylky. Tyto drobné rozdíly mohou být způsobeny vlivem různých klimatických podmínek na ohrusnou a ložní vrstvu. Body měknutí odpovídají hodnotám penetrace a je možné usuzovat, že do vrstev bylo použito nemodifikované silniční pojivo, pravděpodobně třídy 50/70 (nejčastěji používaný silniční asfalt v ČR).

8. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat vliv rychlosti pojezdu silniční frézy na získaný R-materiál. Z výsledků zkoušek vyplývá, že rychlost pojezdu silniční frézy má vliv na zrnitost získaného R-materiálu. Velikost vlivu závisí na broušené vrstvě, kde bylo dosaženo jiných výsledků při frézování ohrusné a ložní vrstvy. Vliv rychlosti pojezdu silniční frézy na získaný R-materiál byl značně vyšší u ložné vrstvy. Nejedná se přitom jenom o zrnitost. Rozdílné vrstvy vykazují rozdílné vlastnosti také na pojivo, kde pojivo z ohrusné vrstvy bylo pravděpodobně zestárlé vlivem dlouhodobého působení povětrnostních podmínek, avšak pojivo z ložní vrstvy bylo před těmito účinky z velké části uchráněno. Z toho vyplývá, že broušení po vrstvách přináší značné výhody, jakými jsou například jednotná čára zrnitosti nebo srovnatelné vlastnosti pojiva, což umožňuje dávkovat vyšší podíl takto získaného R-materiálu do nové asfaltové směsi. Z výše uvedených tabulek a grafů také vyplývá, že nejvýhodnější rychlost pojezdu silniční frézy je optimální pro ohrusnou vrstvu, kde rychlý a pomalý pojezd vykazovaly horší výsledky. Pro ohrusnou vrstvu je však vhodnější pojezd rychlý. Pomalejší pojezd silniční frézy měl za následek přílišné předrcení frakcí, které vede k jemnozrnějším čarám zrnitosti.

Dalším faktorem, který ovlivňuje vlastnosti získaného R-materiálu, je zrnitost kameniva v původní asfaltové směsi. Pro získání co nejvhodnějšího R-materiálu je proto vhodné broušení po vrstvách s rozdílnou rychlostí pojezdu pro každou vrstvu asfaltové vozovky.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Journal of Cleaner Production: Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed asphalt pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact* [online], 2020. 244. [cit. 2020-03-18]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118837>
- [2] *Construction and Building Materials: Effects of recycled aggregate composition on the mechanical characteristics and material design of cement stabilized cold recycling mixtures using road milling materials* [online], 2020. 244. [cit. 2020-03-18]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118329>
- [3] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*, Ministerstvo dopravy ČR, 2009
- [4] *Construction and Building Materials: Characterization of agglomeration of reclaimed asphalt pavement for cold recycling* [online], 2020. 240. [cit. 2020-03-18]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117912>.
- [5] *Construction and Building Materials: Practical method for in-place density measurement of cold in-place recycling mixtures* [online], 2019. 227. [cit. 2020-03-18]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116731>.
- [6] *Journal of Cleaner Production: Optimizing the asphalt pavement cold in-place recycling process containing waste pozzolans based on economic-environmental-technical criteria* [online], 2020. 242. [cit. 2020-03-18]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118505>
- [8] Nixon-Egli Equipment Co. Wirtgen 2200 CR – *Cold Recycler and Cold Milling Machine* [online]. Copyright © 2000-2009 [cit. 18. 05. 2020]. Dostupné z: http://www.nixon-egli.com/product_info.php?
- [9] Valentin, J. – Suda, J. – David, M.: Časopis Silnice Železnice. 2012 Alternativní trendy v oblasti technologií recyklace za studena

- [10] *Automation in Construction: Heating process monitoring and evaluation of hot in-place recycling of asphalt pavement using infrared thermal imaging* [online], 2020. 211. [cit. 2020-03-19]. ISSN 0926-5805. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103055>
- [11] *Hot In Place Asphalt Recycling* [online]. Copyright © [cit. 20.03.2020]. Dostupné z: <https://www.ecopavesystems.com/docs/ecopaver2014.pdf>
- [12] Bc. Jan Ševc *Studené asfaltové směsi s R-materiálem*. Brno, 2016. 80 s., 35 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
- [13] ŠKOPÁN, Miroslav. *Vývojové trendy v technologiích pro recyklaci stavebních a demoličních odpadů* [online]. 2007 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.stavebnitechnika.cz/clanky/trendy-v-technologiich-pro-recyklaci-odpadu>
- [14] JUNGA, Petr, Tomáš VÍTĚZ a Petr TRÁVNÍČEK, 2015. *Technika pro zpracování odpadů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-207-6.
- [15] TURČINEK, Andrej. *Mobilní zařízení pro drcení kameniva a recyklátů ze stavebních odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [16] JUNGA, Petr, 2015. *Technika pro zpracování odpadů*. [online]. 8. dubna 2015 [cit. 2020-03-20] Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/210/17167.pdf.
- [17] Bc. Daniela Koniasová, DiS *Využívání vytěženého prostoru pro recyklaci stavebního odpadu*. Ostrava, 2017. 77 s., 7 s. příl. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut hornického inženýrství a bezpečnosti. Vedoucí práce Ing. Dagmar Čechová, Ph.D. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/119907>

- [18] H-INTES s.r.o. *Recyklační linka. H-INTES s.r.o.* [online]. Dostupné z: <http://www.h-intes.cz/recyklacni-linka>
- [19] Konstrukce semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek; Ing. Pavel Kala (2009 - 29538) – VUT v Brně. Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © 2020 VUT v Brně [cit. 20.03.2020]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/29538>
- [20] *Semimobilní linky RESTA pro zpracování nerostných surovin* [online]. Copyright © 1991 [cit. 20.03.2020]. Dostupné z: <http://www.resta.cz/vyroba-drtecich-a-tridicich-zarizeni/linky.aspx>
- [21] *Quality washing systems* [online]. Copyright © 2020 [cit. 20.03.2020]. Dostupné z: <https://www.dernaseer.com/>
- [22] HENKOVÁ, Svatava. *Stroje a zařízení pro recyklaci stavebních materiálů* [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Dostupné z: http://tstsw.cz/stavebni_stroj/predmet-bw03/prednaska-11
- [23] *Drtič drobné stavební suti RESTA 350x110* [online]. Copyright © 1991 [cit. 24.03.2020]. Dostupné z: <http://www.resta.cz/vyroba-drtecich-a-tridicich-zarizeni/drtice-drobne-stavebni-suti/resta-350x110.aspx>
- [24] HENKOVÁ, Svatava. *Stroje a zařízení pro přípravu materiálů k výrobě betonové směsi* [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Dostupné z: http://tstsw.cz/stavebni_stroj/predmet-bw03/prednaska-4
- [25] *HARTL DRTIČE+TRÍDIČE* [online]. Dostupné z: <http://www.hartl.cz/>
- [26] JEŠUTA, Jiří. *Kyvadlo čelistového drtiče 1 600 x 1 250* [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/60740>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Malášek.
- [27] HEREL, René. *Konstrukční návrh drtiče umístěného ve středu velkostroje*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní,

- Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 36 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Horst Gondek, DrSc.
- [28] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, 2016
- [29] *Silnice MÁLEK* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/firma-333271-asfaltovani-malek-praha-praha-4>
- [30] *Recyklace asfaltových vozovek* [online]. 1. 12. 2012. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://readgur.com/doc/168845/recyklace-asfaltov%C3%BDch-vozovek---katedrasilni%C4%8Dn%C3%ADch-staveb>
- [31] HENKOVÁ, Svatava. *Demolice, recyklace* [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Dostupné z: http://tstsw.cz/stavebni_stroj/predmet-bw06-56/prednaska-10
- [32] *Cat PM622 - Stroje Caterpillar - Silniční stroje - Frézy Cat* [online]. Copyright © [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/online-katalog/stavebni-stroje-caterpillar/silnicni-stroje/frezy-cat/silnicni-frezy/cat-pm622>
- [33] Bc. Tomáš Nentvich *Recyklace netuhých vozovek za studena*. Brno, 2010. 68 s., 12 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus
- [34] VARAUS, M. *Recyklace netuhých vozovek*, Pozemní komunikace II. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací, 2012. Přednáška.
- [35] *Obnova a zesílení krytů vozovek recyklací za horka na místě* [online]. Copyright © [cit. 05.04.2020]. Dostupné z: http://www.frekomos.cz/media/files/horka_recyklace_frekomos_web.pdf
- [36] TP 209, *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka*, Ministerstvo dopravy ČR, 2009
- [37] Bc. Pavel Šperka *Vliv použití R - materiálu na funkční vlastnosti asfaltových směsí*. Brno, 2014. 117 s., 35 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v

Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

- [38] ČSN EN 13108-8. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál*. Praha: Český normalizační institut, 2017
- [39] SEHNALOVÁ, V. *Hnací mechanismy kuželových drtičů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 28 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [40] TURČINEK, A. *Mobilní zařízení pro drcení kameniva a recyklátů ze stavebních odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc..
- [41] *Hornická skripta* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/up_uhli/01.htm
- [42] TP 210
- [43] *Digital Asphalt Penetrometer. Testmak*. [online]. 13.5.2016 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.testmak.com/Digital-Asphalt-Penetrometer>
- [44] Jakub Přívara *Využití běžného R-materiálu v asfaltových směsích*. Brno, 2016. 73 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
- [45] *Zrnitost zemin* – Wikipedie. [online]. [cit. 2020-04-16] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zrnitost_zemin

10. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Stavební odpad z vozovky	10
Obrázek č. 2: Schéma výroby recyklátu [14]	13
Obrázek č. 3: Vybourání asfaltových desek vozovky [29] [31]	14
Obrázek č. 4: Silniční fréza CAT PM622 [32]	14
Obrázek č. 5: Drtič drobné stavební suti [23]	16
Obrázek 6: Příklad umístění magnetického separátoru [5]	17
Obrázek č. 7: Schéma mobilní recyklační linky [14]	18
Obrázek č. 8: Mobilní recyklační linka [18]	19
Obrázek č. 9: Semimobilní recyklační linka [21]	19
Obrázek č. 10 - Stacionární recyklační linka [20]	20
Obrázek č. 11: Schéma jednovzpěrného čelistového drtiče [26]	21
Obrázek č. 12 - Kuželový drtič [39]	22
Obrázek č. 13 - Schéma odrazového drtiče [40]	22
Obrázek č. 14 - Schéma válcového drtiče [41]	23
Obrázek č. 15: Schéma recyklační kolony pro recyklaci na místě za studena [8]	26
Obrázek č. 16: Rozpojení a úprava staré vrstvy vozovky [8]	27
Obrázek č. 17 - Mobilní míchací centrum [33]	28
Obrázek 18 Proces recyklace na místě za horka [11]	30
Obrázek č. 19 - Schéma metody Repave [35]	31
Obrázek 20 - Schéma metody Remix [35]	32
Obrázek 21 - Schéma metody Remix PLUS [35]	32
Obrázek č. 22: Sloupec síť [45]	36
Obrázek 23: Zařízení pro extrakci rozpustného asfaltu [44]	39
Obrázek č. 24: Destilační zařízení [44]	40
Obrázek č. 25: Penetrometr [43]	41
Obrázek č. 26: Kroužek a odlévací destička [28]	43
Obrázek č. 27: Začátek zkoušky KK	44

11. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka č. 1: Technologie studené recyklace [3]	25
Tabulka č. 2 - Maximální rozdíl platných stanovení [28].....	42
Tabulka č. 3: Označení použitého R-materiálu	45
Tabulka č. 4: Sítový rozbor 6 ACO-P.....	47
Tabulka č. 5: Sítový rozbor 7 ACO-O	48
Tabulka č. 6: Sítový rozbor 8 ACO-R	49
Tabulka č. 7: Sítový rozbor 6 ACL-P	52
Tabulka č. 8: Sítový rozbor 7 ACL-O	53
Tabulka č. 9: Sítový rozbor 8 ACL-R.....	54
Tabulka č. 10: Množství pojiva ve vzorku	57
Tabulka č. 11: Sítový rozbor 6 ACO-P.....	58
Tabulka č. 12: Sítový rozbor 7 ACO-O	59
Tabulka č. 13: Sítový rozbor 8 ACL-R.....	60
Tabulka č. 14: Fullerova parabola pro ACO 11.....	62
Tabulka č. 15: Fullerova parabola pro ACO8.....	63
Tabulka č. 16: Sítový rozbor 6 ACL-P	65
Tabulka č. 17: Sítový rozbor 7 ACL-O	66
Tabulka č. 18: Sítový rozbor 8 ACL-R.....	67
Tabulka č. 19: Fullerova parabola pro ACO 11.....	69
Tabulka 20: Fullerova parabola pro ACL 16.....	70
Tabulka č. 21: Výsledky zkoušky penetrace jehlou	72
Tabulka č. 22 - Bod měknutí	73

12. SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf č. 1: Kusová zrnitost obrusné vrstvy vozovky.....	50
Graf č. 2: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro obrusnou vrstvu.	51
Graf č. 3: Kusová zrnitost ložní vrstvy vozovky	55
Graf č. 4: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro ložní vrstvu.....	56
Graf č. 5: Zrnitost kameniva z obrusné vrstvy vozovky	61
Graf č. 6: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro obrusnou vrstvu.	61
Graf č. 7: Porovnání čár zrnitosti.....	63
Graf č. 8: Porovnání procentuálních zastoupení frakcí.....	64
Graf č. 9: Zrnitost kameniva z ložné vrstvy vozovky	68
Graf č. 10: Procentuální zastoupení zbytků na jednotlivých sítích pro ložní vrstvu.....	68
Graf č. 11: Porovnání čár zrnitosti.....	70
Graf č. 12: Porovnání procentuálních zastoupení frakcí.....	71
Graf č. 13: Porovnání kusové zrnitosti a zrnitosti kameniva.....	72